

Aus der Privatklinik Dr. Amelung, Königstein im Taunus
Chefarzt: Professor Dr. med. habil. Walther Amelung.

**Kontinuierliche Messungen
des atmosphärischen Aerosols im Vordertaunus;
seine Wetterabhängigkeit
und seine hygienische Bewertung**

*Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main*

vorgelegt von
Erpho Püntmann
aus Paderborn

Frankfurt am Main 1963



Dekan: Prof. Dr. med. W. Krücke

1. Referent: Prof. Dr. med. W. Amelung

2. Referent: Prof. Dr. med. K. Pirlet

Tag der mündlichen Prüfung: 10. 5. 1963

ZENTRALBLATT FÜR
BIOLOGISCHE **AEROSOL** FORSCHUNG

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG DES FACHAUSSCHUSSES FÜR AEROSOLFRAGEN IN DER
FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG, MÜNCHEN

11. JAHRGANG

SEPTEMBER 1963

NR. 3

FRIEDRICH-KARL SCHATTAUER-VERLAG · STUTTGART 1

**Kontinuierliche Messungen des atmosphärischen Aerosols
im Vordertaunus;
seine Wetterabhängigkeit und seine hygienische Bewertung**

*Aus der Privatklinik Dr. Amelung, Königstein/Taunus (Chefarzt: Prof. Dr. med. habil. Walther
Amelung) und der Medizin-meteorologischen Beratungsstelle des Deutschen Wetterdienstes,
Königstein/Taunus (Leiter: Oberregierungsrat Dr. phil. nat. F. Becker)*

Erpho Püntmann

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

- I. Zur Methode.
- II. Tages- und Monatsmittelwerte und mittlerer Tagesgang des Aerosols.
- III. Untersuchung meteorologischer Einflüsse auf Höhe und Tagesgang des Staubgehaltes der Luft.
 1. Der Einfluß des Windes.
 2. Der Einfluß der vertikalen Turbulenz.
 3. Der Einfluß der Luftpörper und Fronten.
- IV. Der Einfluß künstlicher Staubquellen auf den Staubgehalt der Luft.
- V. Die hygienische Bedeutung des Staubes.

Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

Die Verunreinigung der Luft mit Staub und Abgasen ist eine seit langem mit Sorge beobachtete Begleiterscheinung der Industrialisierung. In Industriegebieten und vielen Großstädten hat die Luftverschmutzung bereits solche Ausmaße angenommen, daß

Für Literaturangaben:

Zbl. Aerosol-Forsch. 11: 189—223 (1963)

eine gesundheitliche Belastung der Bevölkerung eingetreten ist. Trotz einschränkender Gesetze und erheblichen technischen Aufwandes konnte noch keine wirksame Abhilfe erreicht werden.

Auch für Luftkurorte und Heilbäder bedeutet die Verunreinigung der Luft heute ein ernsthaft zu beachtendes Problem. Zwar werden diese Orte vor der Ansiedlung größerer Industrieanlagen geschützt und der Durchgangsverkehr wird nach Möglichkeit eingeschränkt, aber das Anwachsen der Gemeinden mit dem steigenden Bedarf an Hausbrand und Gewerbefütterung, die Mechanisierung der Land- und Forstwirtschaft und die Zunahme des örtlichen Kraftverkehrs lassen auch hier eine stärkere Luftverschmutzung befürchten. Hinzu kommt die Fernwirkung benachbarter Großstädte und Industriegebiete, die je nach den meteorologischen Verhältnissen ihren ungünstigen Einfluß auch auf weit entfernte Erholungsgebiete ausdehnen können.

In Kurorten besteht ein besonderes Interesse daran, die Luft naturrein zu erhalten. Staub- und Geruchsbelästigungen, ebenso wie der Lärm, wirken sich nicht nur ungünstig auf die Werbung für einen Kurort aus, sie bedeuten oft auch eine wesentliche Störung für das Wohlbefinden der Erholungssuchenden und eine Gefährdung des Kurerfolges. Besonders in heilklimatischen Kurorten, wo als wichtigstes Heilmittel das Klima Anwendung findet, darf eine Verletzung des hochwertigen Klimazustandes durch technische Einflüsse nicht geduldet werden.

Für eine Kontrolle der Luftreinheit sind kontinuierliche oder in gewissen Abständen wiederholte Messungen erforderlich. Auf diese Weise kann festgestellt werden, ob mit einem Anwachsen der Einwohner- und Besucherzahlen oder mit einer Neuerrichtung einer Industrieanlage in der Nachbarschaft tatsächlich eine stärkere Verunreinigung der Kurortluft einhergeht. Ferner gibt der Vergleich mit Messungen an anderen Orten die Möglichkeit, eine Bewertung der Luftgüte vorzunehmen.

In Königstein, einem heilklimatischen Kurort am Südhang des Taunus, sind schon mehrfach Untersuchungen der Luftreinheit vorgenommen worden. Im Jahre 1934 wurden von Amelung und Landsberg (3) Messungen der Kondensationskerne mit dem Scholzschen Kernzähler vorgenommen. Sie gingen von der übereinstimmenden Annahme zahlreicher maßgeblicher Autoren (wie Loewy, Conrad, Schmauß u. a.) aus, daß der Kerngehalt der Luft als Maß für die Luftreinheit zu betrachten sei. Außer Vergleichsmessungen zwischen Freiluft und Zimmerluft unternahmen sie Meßfahrten in die Umgebung Königsteins und zwischen Frankfurt/M.-Höchst und Taunusgipfel, bei denen deutliche Unterschiede im Kerngehalt der Luft je nach Höhenlage und Bevölkerungsdichte festzustellen waren.

Eine Fortsetzung dieser Arbeiten lieferte Bansa (5) im Sommerhalbjahr 1937. Er bemühte sich dabei besonders um eine Erklärung rhythmisch auftretender Schwankungen im Kerngehalt der Luft.

Eigentliche Staubmessungen wurden in Königstein erstmals von Wallert (42) im Herbst 1941 durchgeführt. Er bediente sich dabei des Zeißschen Freiluftkonimeters und führte ebenfalls Vergleichsmessungen in der engeren und weiteren Umgebung des Kurortes durch.

Im Frühjahr 1950 unternahmen Amelung, Becker und Sparwasser (4, 38) weitere Untersuchungen über den Kern- und Staubgehalt der Luft im Taunus. Das wechselseitige Verhalten der Kondensationskerne und der Staubteilchen, sowie die Beeinflussung durch einzelne Wetterfaktoren fand dabei besondere Beachtung.

In der vorliegenden Arbeit wird über die Ergebnisse neuer Staubmessungen in Königstein berichtet. Im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen wurden diese

Messungen nur von einer einzigen festen Meßstelle aus und nach einer andersartigen Methode vorgenommen. Ein Vergleich mit den früheren Messungen und mit Messungen an anderen Orten ist dadurch nicht möglich. Es handelt sich aber um kontinuierliche Aufzeichnungen über mehr als vier Jahre hin. Dadurch war eine Verfolgung der Staubschwankungen über längere Zeit hindurch möglich, und es gelang die statistische Sicherstellung einiger meteorologischer und anthropogener Einflüsse auf den Staubgehalt der Meßortluft.

I. Zur Methode

Seit März 1957 ist in der medizin-meteorologischen Beratungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Königstein ein Luftüberwachungsgerät der Firma Landis & Gyr (Zug, Schweiz) in Betrieb, welches zur Überwachung der Radioaktivität der Luft konstruiert und eingesetzt wurde (44). Da die Radioaktivität der Luft in der Hauptsache an korpuskuläre Beimengungen, an die disperse Phase des Aerosols gebunden ist, arbeitet das Gerät nach dem Prinzip, eine bestimmte Luftmenge durch einen Filterstreifen durchzusaugen und den aufgefangenen Staub auf seinen radioaktiven Gehalt zu untersuchen.

Mit Hilfe einer Bosch-Vakuumpumpe werden bis zu 30 m³ Luft pro Stunde durch einen transportablen Zellulosestreifen gesogen, wodurch die Staubteilchen größer als 0,4 µ zu 70% aufgefangen werden. Der Filterstreifen hat eine Breite von 50 mm und wird mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 34 mm pro Tag über einen kreisrunden Ansaugstutzen von 35 mm Durchmesser geführt. Der beiderseits überstehende Rand des Filterstreifens ist durch einen Plastikstreifen verstärkt, der ein seitliches Ansaugen von Luft verhindert.

Mit 2 Halogen-Zählrohren und einem Impulsfrequenzmeter wird die Intensität der radioaktiven Strahlung des Staubbelauges und mit einem Manometer der Unterdruck im Ansaugrohr fortlaufend gemessen. Die gewonnenen Meßwerte werden auf elektrischem Wege einem Mehrfarbepunktschreiber zugeführt, der sie auf ein transportables Registrierpapier aufzeichnet. Dieses besitzt in seiner Länge eine Zeitskala, die der Vorschubgeschwindigkeit von 8 cm pro Tag entspricht, und in seiner Breite von 9 cm (mit Rand 11 cm) eine indifferente Skaleneinteilung von 0—100.

Bei unverstaubtem Filterstreifen wird im Ansaugrohr im Mittel ein Unterdruck von 580 mm Wassersäule und eine Durchströmungsmenge von 30 m³ Luft/Stunde gemessen. Mit zunehmender Verstaubung nimmt der Unterdruck zu, die Durchströmungsmenge ab, während die Pumpe mit gleicher Sogkraft weiter arbeitet. Da die absoluten Werte des Unterdrucks für den praktischen Gebrauch des Gerätes keine Rolle spielen, wurde die Registrierskala direkt auf die Durchströmungsmenge geeicht, die in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis zur Größe des Unterdrucks steht. Dabei ergab sich eine lineare Abhängigkeit der Skalenwerte (x) von der Durchströmungsmenge (y) nach der Formel:

$$y = 0,4 x - 1$$

Die Anregung zu den vorliegenden Staubuntersuchungen ging von dem Gedanken aus, daß die üblichen Meßmethoden zur Bestimmung des Staubgehaltes der Luft nach dem gleichen Prinzip und unter den gleichen Voraussetzungen arbeiten wie das Luftüberwachungsgerät, nur daß an Stelle der Impulsfrequenzmessung eine Bestimmung des Gewichtes oder der Teilchenzahl des aufgefangenen Staubes tritt. Damit erschien die Möglichkeit gegeben, das Luftüberwachungsgerät bei entsprechender Eichung auch zu Staubbmessungen zu verwenden.

Das Landis-und-Gyr-Gerät gewährt dabei gegenüber den meisten anderen Staubbmeßmethoden den Vorteil einer kontinuierlichen Registrierung, die sich den Schwan-

kungen des Aerosols auch innerhalb kleinerer Zeiträume (u. U. bis auf Stundenwerte genau) anpaßt. Allerdings ist damit gleichzeitig der Nachteil verbunden, daß sich die produktionstechnisch bedingten Eigenschwankungen des Filters in bezug auf Gewicht, Durchströmungswiderstand und Wirkungsgrad in vollem Ausmaße auf die Meßwerte auswirken. Dadurch verliert der einzelne Meßwert natürlich an Zuverlässigkeit. Bei der Zusammenfassung einer genügend großen Anzahl von Einzelwerten zu statistischen Untersuchungen bleibt jedoch die Aussagekraft der Durchschnittswerte ohne wesentlichen Schaden.

Bei diskontinuierlichen Staubmeßmethoden wird die Auffangvorrichtung (Filter, Folie oder Sammelbecher) in der Regel vor und nach der Verwendung gewogen und dadurch die Menge des während der Meßdauer gesammelten Staubes exakt bestimmt; so auch beim Staubmeßgerät des Max-Planck-Institutes in Frankfurt/M., dessen Ergebnisse zum Vergleich herangezogen wurden. Bei kontinuierlich arbeitenden Methoden ist das praktisch nicht möglich. Der Filterstreifen wird als Rolle von mehreren Metern Länge in das Luftüberwachungsgerät eingesetzt und hat eine Laufzeit von mehreren Wochen. Es ist unmöglich, ihn in Tagesrationen vor der Verwendung auszuwiegen. Es ist auch nach Verwendung nicht möglich, Filter und Staubbelaag einwandfrei zu trennen. Daß man auf Absolutwerte verzichten muß, ist jedoch kein wesentlicher Mangel, da auch alle anderen Staubmeßmethoden nur Relativwerte liefern [vgl. M e l d a u (23, S. 345)] und ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Methoden nur mit Vorbehalt gestattet ist [vgl. H e l l e r (17), E f f e n b e r g e r (7)].

Die Verwendung des Luftüberwachungsgerätes zu Staubmessungen wird durch die Tatsache ermöglicht, daß der Unterdruck im Ansaugrohr abgesehen von den Schwankungen des Filtereigenwiderstandes und des atmosphärischen Luftdrucks im wesentlichen vom Grade der Verstaubung des Filterstreifens abhängig ist. Die Registrierung des Unterdrucks läßt sich also bei entsprechender Eichung nicht nur auf die Luftdurchflußmenge, sondern auch auf die Menge des Staubbelaages, bei Zusammenfassung beider Größen sogar auf den Staubgehalt der Luft im Kubikmeter anwenden.

T a b. 1 : Zuordnung der Filtergewichte zu den Skalenwerten

Skalenwert	Durchschnittsgewicht der 17-mm-Filterstücke in mg In Klammern: Zahl der ausgewogenen Filterstücke					
	für 1959		für 1960		für 1961	
21—25	—	—	176	(2)	—	—
26—30	183	(2)	—	—	—	—
31—35	171	(1)	167	(3)	192	(1)
36—40	179	(4)	171	(4)	195	(1)
41—45	177	(6)	170	(12)	192	(2)
46—50	174	(14)	167	(19)	193	(4)
51—55	173	(31)	166	(25)	190	(10)
56—60	172	(28)	164	(43)	179	(9)
61—65	166	(14)	161	(37)	180	(24)
66—70	164	(21)	159	(47)	173	(49)
71—75	154	(14)	156	(51)	169	(40)
76—80	142	(1)	150	(22)	168	(36)

Es erwies sich als praktisch, zunächst eine Eichung der Registrierskala auf das Gesamtgewicht des verstaubten Filterstreifens (= Eigengewicht + Staubbelaag) vorzunehmen und erst zum Schluß durch Subtraktion des mittleren Leerfiltergewichtes und Berücksichtigung der Luftdurchflußmenge und des Filterwirkungsgrades die Eichformel für den Staubgehalt der Luft im Kubikmeter zu errechnen.

Es wurden insgesamt 577 gleichgroße Filterstückchen aus den in den letzten Jahren benutzten und sorgfältig aufbewahrten Filterstreifen ausgewogen. Die dabei gewählte Länge von 17 mm entspricht der Vorschubgeschwindigkeit des Filters von 12 Std. und dem Abstand der jeweils um 6 Uhr und um 18 Uhr eingebrannten Zeitmarken. Die Gewichte der Filterstückchen wurden in Beziehung gesetzt zu den zeitlich entsprechenden Halbtagesmittelwerten der Anzeige auf dem Registrierpapier (Tab. 1; Abb. 1).

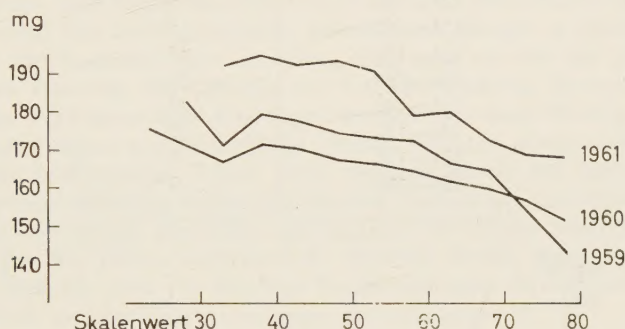


Abb. 1 : Mittleres Gewicht von 17 mm langen Filterstückchen in Zuordnung zu der Registrierskala

Die Trennung des Filtermaterials nach Ursprungsjahren erwies sich als erforderlich, da sich zwischen ihnen gewisse Abweichungen herausstellten. Die Regression zwischen Filtergewichten (y) und Skalenwerten (x) wurde deshalb für jedes Ursprungsjahr getrennt errechnet [nach Linder (21)]:

$$\text{für 1959: } y = 206,8 - 0,656 x$$

$$\text{für 1960: } y = 190,8 - 0,478 x$$

$$\text{für 1961: } y = 228,8 - 0,803 x$$

Für alle drei Regressionsgeraden ließ sich Linearität nachweisen, da in jedem Falle der F-Wert für das Verhältnis der Streuung „um die Regression“ zur Streuung „innerhalb der Skalenwerte“ unter der Sicherheitsgrenze für 5%ige Überschreitungswahrscheinlichkeit liegt:

$$\text{für 1959: } F = 1,23$$

$$\text{für 1960: } F = 1,07$$

$$\text{für 1961: } F = 0,89$$

$$\text{bei } n_1 = 24; n_2 = \infty : F_{0,05} = 1,517$$

Während sich die Abweichungen zwischen den Ursprungsjahren 1959 und 1960 noch als zufällig deuten lassen, erscheint das Material von 1961 als überzufällig diffe-

rierend. Als ein wesentlicher Störungsfaktor wurde bei dem zuletzt verwendeten Material ein höheres Eigengewicht des Filterpapiers festgestellt. Korrigiert man die Differenz (14,6 mg pro 17 mm), so gleichen sich die Regressionsgeraden weitgehend einander an. Es ist durchaus anzunehmen, daß innerhalb des Untersuchungszeitraumes häufiger derartige Abweichungen aufgetreten sind. Das Filtermaterial aus den Jahren 1957 und 1958 war jedoch zur Überprüfung nicht heranzuziehen, weil es für diesen Zweck unzulänglich aufbewahrt war.

Tab. 2

Gewicht in mg	Anzahl
121—125	2
126—130	2
131—135	21
136—140	24
141—145	25
146—150	22
151—155	6
156—160	4

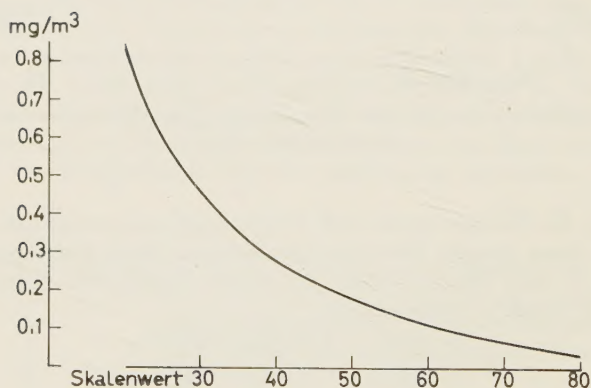


Abb. 2: Eichkurve.

Der mittlere Staubgehalt der Luft in Zuordnung zu der Registerskala

Zum Zwecke der Einheitlichkeit erschien es ratsam, für den ganzen Untersuchungszeitraum nur eine einzige Eichgleichung gelten zu lassen, auch wenn bisweilen geringfügige Abweichungen vorgekommen waren. Als „mittlere“ Regressionsgerade wurde deshalb folgende Gleichung errechnet:

$$y = 202,9 - 0,646 x$$

Die Bestimmung des mittleren Leergewichtes des Filterstreifens erfolgte durch Auswägung von 106 gleichgroßen (17×50 mm), unbenutzten Filterstückchen. Die

Aufteilung nach Gewichtsklassen zeigt obenstehende Tabelle. Bei einem Durchschnittsgewicht von 141,3 mg besteht eine Streuungsbreite von $\pm 7,24$ mg ($= \pm 5,12\%$).

Nach Abzug des errechneten mittleren Leerfiltergewichtes von 141,3 mg, sowie nach Berücksichtigung der Luftdurchflußmenge innerhalb von 12 Stunden ($= 0,4 \times -1$) und des Filterwirkungsgrades von 70% ergibt sich für die Abhängigkeit der Skalanzeige (x) vom Staubgehalt der Luft im Kubikmeter folgende Eichformel:

$$y = \frac{61,6 - 0,646 \cdot x}{0,7 \cdot 12 \cdot (0,4 \cdot x - 1)}$$

Diese Eichformel und ihre Anwendung ist natürlich mit all den z. T. bereits erwähnten Unzulänglichkeiten unserer Methode belastet: mit den Schwankungen der Filtereigenschaften und der Staubzusammensetzung, mit den technischen Störungen des Sammel-, Meß- und Registriersystems und mit den unberücksichtigten Einflüssen des Luftdrucks und der Luftfeuchtigkeit. Soweit diese Mängel in gleicher Weise auch die Messungen der Radioaktivität betreffen, mag man auf die seit Jahren erprobte und anerkannte Nutzung des Gerätes zur Luftüberwachung hinweisen. Durch die Verwendung des Gerätes zu Staubbmessungen wurden aber neue Fehlerquellen eröffnet, die bei der Konstruktion unberücksichtigt bleiben konnten. Diese auszuschalten, war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich, da sie auf bereits vorhandene Aufzeichnungen zurückgreifen mußte und keinen Einfluß auf das Meßsystem nehmen konnte. Es galt vor allem, die Gebrauchsfähigkeit der neuen Staubbmeßmethode zu erproben und das seit Jahren angesammelte Material soweit möglich zu erschließen. Sollte sich die Methode auch für künftige Staubbmessungen als nützlich erweisen, läßt sie sich leicht durch zweckmäßige Änderungen vervollkommen.

II. Tages- und Monatsmittelwerte und mittlerer Tagesgang des Staubgehaltes der Luft

Die Aufzeichnung der Unterdruckschwankungen auf dem Registrierpapier bietet sich als eine kontinuierliche wellenförmige Linie dar, die eine Ablesung von Skalenwerten bis auf Stundenangaben genau ermöglicht. Mit Hilfe der Eichformel läßt sich demnach für jede Stunde des Untersuchungszeitraumes ein Staubbmittelwert ausrechnen. Dieser entspricht jedoch nicht immer dem wirklichen Staubgehalt der Luft zur jeweiligen Stunde. Es können sich nämlich durch den langsamen Vorschub des Filterstreifens kurzdauernde Staubbspitzen noch bis zu 24 Stunden danach auf die Meßwerte auswirken. Erst die aus jeweils 24 Stundenwerten errechneten Tagesmittelwerte bieten eine gewisse Zuverlässigkeit.

Abb. 3 zeigt die mit Hilfe der Eichkurve errechneten Staubbwerte für die Meßstelle in Königstein. Für den größten Teil des Untersuchungszeitraumes sind Tages- und Monatsmittelwerte dargestellt, wobei jedoch Spitzenwerte über $0,3 \text{ mg/m}^3$ in der Abbildung nicht berücksichtigt werden konnten. Dadurch, daß gleiche Monate untereinander geordnet wurden, wird eine allen vier Jahren eigene Grundschwankung in der Staubbintensität deutlich: Im Sommer wird gewissermaßen ein Minimum erreicht, während in den Herbst- und Wintermonaten die Staubbwerte um fast das Doppelte höher liegen.

Auch rein zahlenmäßig demonstrieren sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Monaten und Jahreszeiten, wie auch zwischen der grob abgegrenzten Heiz- und Nichtheizperiode eindrucksvoll. Tab. 3 zeigt die entsprechenden Mittelwerte, die durch Zusammenfassung der vier Jahre gewonnen wurden.

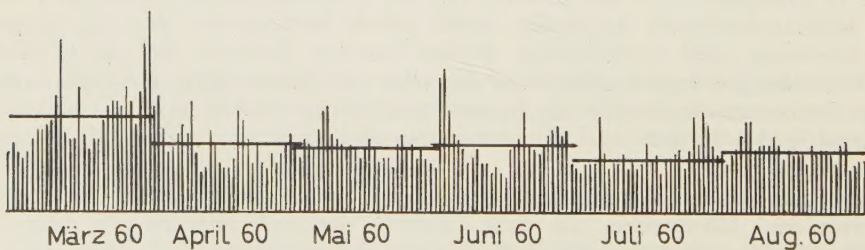
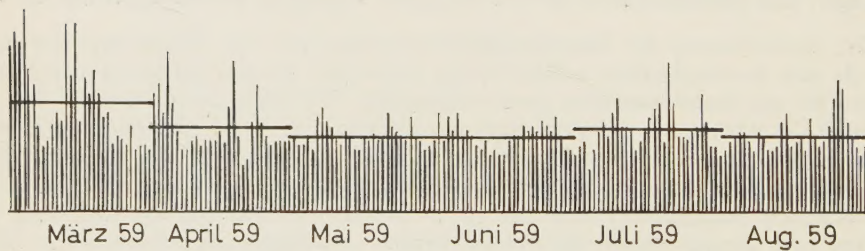
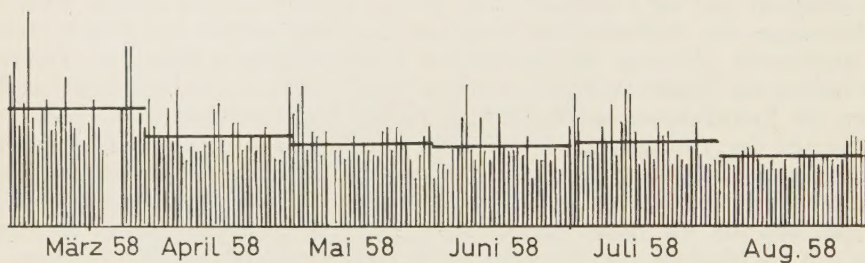
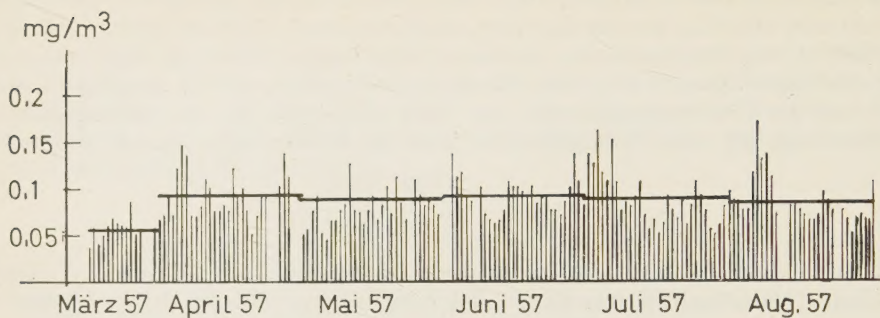


Abb. 3

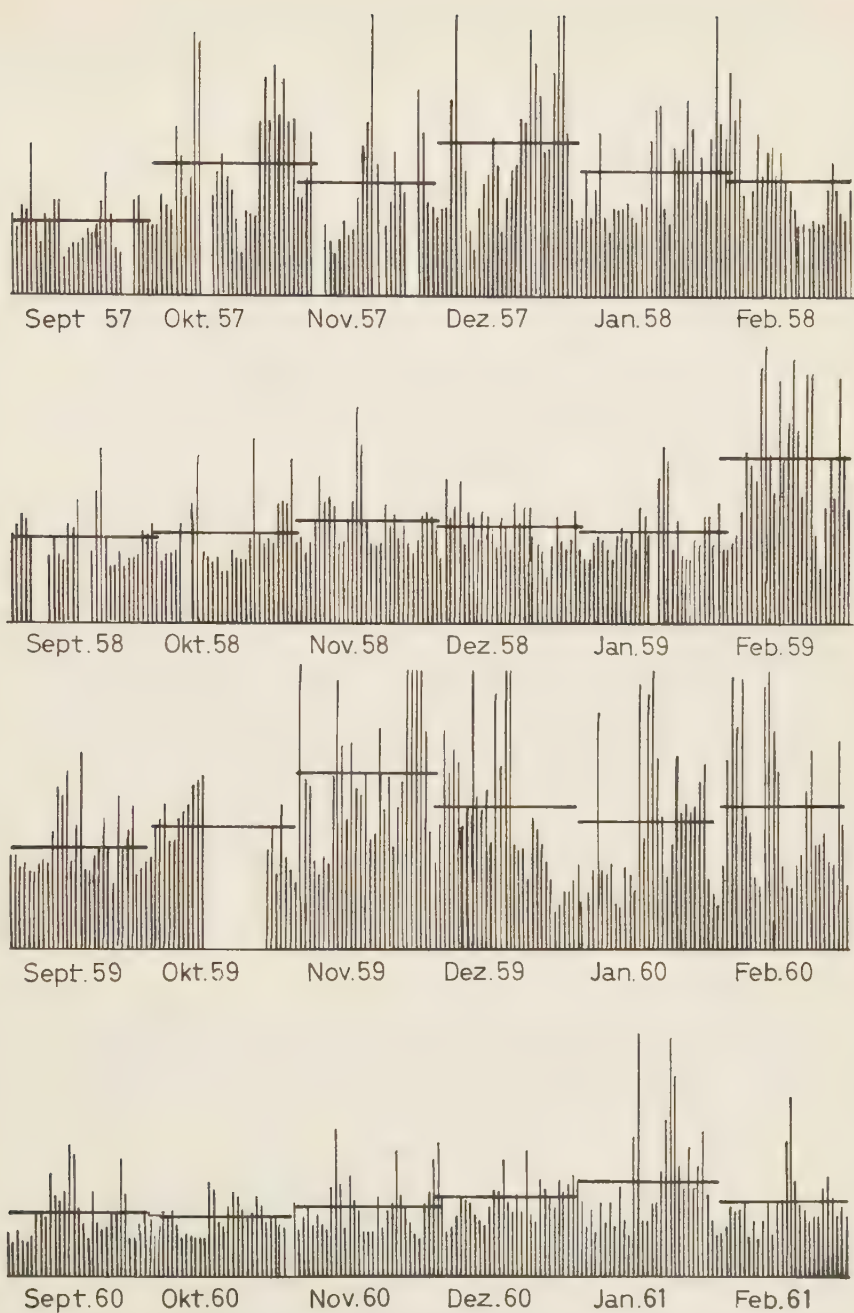
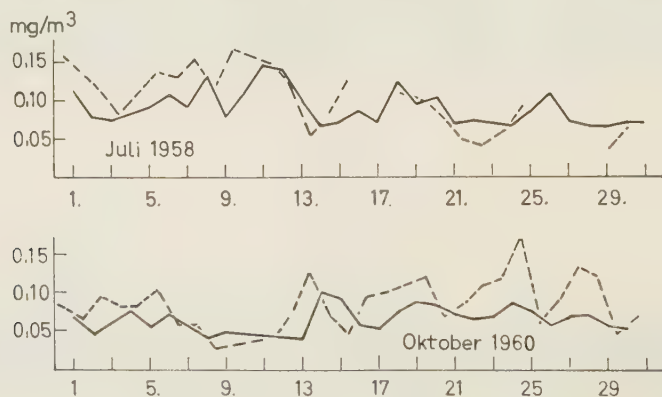


Abb. 3

T a b. 3 : Mittelwerte des Staubgehaltes der Luft in mg/m^3

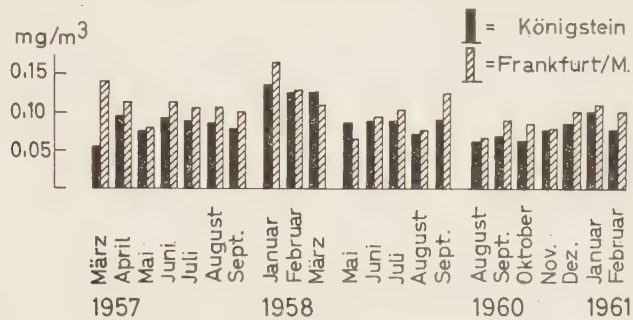
September	0,087	Herbst	0,106		Gesamtmittel 0,097
Oktober	0,106				
November	0,124				
Dezember	0,126	Winter	0,126	Heizperiode	
Januar	0,119			0,116	
Februar	0,134				
März	0,096	Frühling	0,082		
April	0,080				
Mai	0,070				
Juni	0,082	Sommer	0,079	Nichtheizperiode	
Juli	0,081			0,077	
August	0,076				

Aufschlußreich wäre ein Vergleich mit andernorts ermittelten Staubwerten. Jedoch liegen nach gleicher Methode durchgeführte Untersuchungen bislang nicht vor. Und daß Staubwerte, die nach verschiedenen Methoden gewonnen wurden, in ihrer absoluten Höhe nur unter strengem Vorbehalt miteinander verglichen werden dürfen, wurde schon erwähnt. Trotzdem seien hier zur vergleichenden Betrachtung Staubwerte vom Max-Planck-Institut in Frankfurt/M. angeführt, die dort mittels einer diskontinuierlichen Auffangvorrichtung gewonnen wurden. Abb. 4 bringt zwei Beispiele für einen Monatsverlauf der Staubkurven an den beiden Meßstellen, und Abb. 5 stellt alle verfügbaren Monatsmittelwerte beider Orte einander gegenüber. Während aus letzterer Abbildung praktisch keine Rückschlüsse gezogen werden dürfen — es ist unwahrscheinlich, daß die Staubwerte in Frankfurt/M. nur so wenig über dem Wert in Königstein liegen sollen —, gibt die Abb. 4 zu relativ-vergleichender Betrachtung Raum: Es ist interessant zu verfolgen, in welchem Maße die beiden Staubkurven sich

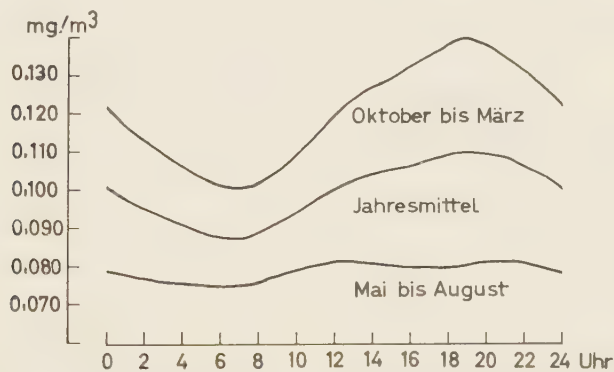


A b b. 4 : Zwei Beispiele für den Monatsverlauf der Staubkurven in Königstein (ausgezogen) und Frankfurt/M. (gestrichelt)

gleichen, wie sich ihre Extremwerte unterschiedlich stark ausprägen, wie bald die eine, bald die andere Kurve ein wenig in der Schwankung vorseilt. Ein Zusammenhang zwischen beiden Kurven ist jedenfalls nicht abzustreiten.



A b b. 5 : Vergleich der Monatsmittelwerte des Aerosols in Königstein und Frankfurt/M.



A b b. 6 : Mittlerer Tagesgang des Aerosols

Obere Kurve: Monate Oktober bis März Mittlere Kurve: Jahresmittel
 Untere Kurve: Monate Mai bis August

Abb. 6 demonstriert den mittleren Tagesgang im Staubgehalt der Luft. Die mittlere Kurve kennzeichnet den Tagesgang für alle Tage, die untere Kurve stellt den Tagesgang der Nichtheizperiode (Mai bis August), die obere den der Heizperiode (Oktober bis März) dar.

Im Sommer sind folgende Extremwerte zu beschreiben:

- um 6 Uhr absolutes Minimum
- um 13 Uhr sekundäres Maximum
- um 18 Uhr sekundäres Minimum
- um 21 Uhr absolutes Maximum

Im Winter: um 7 Uhr absolutes Minimum
 um 19 Uhr absolutes Maximum.

Beim Vergleich der Winterkurve mit der Sommerkurve läßt sich eine gemeinsame Grundform erkennen, die durch die beiden charakteristischen Extremwerte am Morgen und am Abend gekennzeichnet ist. Jedoch sind diese beiden Extremwerte im Winter nicht nur wesentlich stärker ausgeprägt, sondern auch mehr aneinander gerückt, vermutlich im Zusammenhang mit der verkürzten Tagesdauer. Die Ausbildung eines sekundären Maximums in den Mittagsstunden und eines sekundären Minimums am Nachmittag, wie es für den Sommer charakteristisch ist, erscheint auch in der Winterkurve angedeutet, wird aber hier durch einen starken kontinuierlichen Staubanstieg überlagert.

Der dargestellte Tagesgang findet sich jedoch in seiner typischen Form nur in etwa 40% verwirklicht. Ursache für die häufige Abweichung ist hauptsächlich die Überlagerung des Tagesganges durch plötzliche oder mehrtägige Störungen, die man als Spitzenbelastung bezeichnen könnte. In mehr als der Hälfte dieser Fälle ist der normale Tagesgang noch in diesen Überlagerungswellen zu erkennen, aber teilweise wirken die Staubsitzen so entstellend, daß kein normaler Verlauf mehr zu erkennen ist. Tab. 4 zeigt die Häufigkeit der verschiedenen Tagesverläufe.

T a b. 4 : Die Häufigkeit der normalen und abweichenden Tagesgänge

	Tagesgang erhalten		Tagesgang abnorm		Tagesgang verzerrt		insgesamt	
	Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%
spritzenfreie Tage	571	38,4	299	20,1	169	11,4	1039	69,8
Tage mit einfachen Staubsitzen	147	9,9	—	—	91	6,1	238	16,0
Tage im Verlauf mehrtägiger Verunreinigung	132	8,9	—	—	79	5,3	211	14,2
S u m m e	850	57,2	299	20,1	339	22,8	1488	100,0

Unter „abnormem“ Tagesgang sind solche Tagesverläufe zu verstehen, die, ohne daß sie von einer erkennbaren Staubsitze überlagert werden, einen vom normalen Tagesgang abweichenden Rhythmus haben, der sich mehrfach im Laufe der Untersuchungszeit wiederholt. Abb. 7 zeigt ihre Form und prozentuale Häufigkeit.

Man kann die Konstanz der einzelnen Extremwerte auch unabhängig vom jeweiligen Tagesverlauf prüfen und kommt dabei zu folgenden Zahlen:

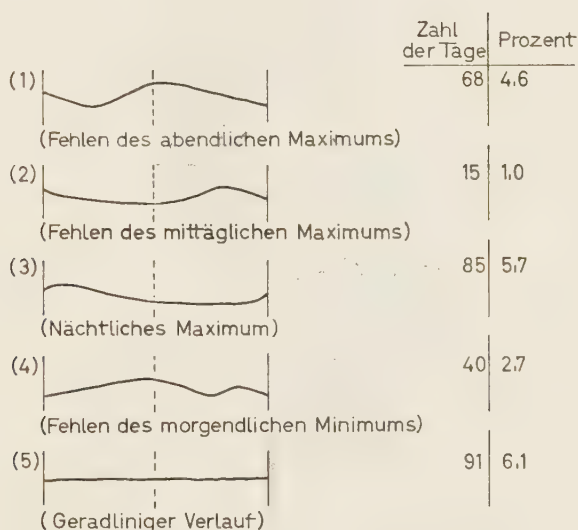
Ein morgendliches Minimum findet sich an 1047 Tagen (= 70,4%)

Ein mittägliches Maximum findet sich an 752 Tagen (= 50,6%)

Ein abendliches Maximum findet sich an 1146 Tagen (= 77,0%)

Die geringere Häufigkeit im Auftreten des mittäglichen Maximums stimmt mit der oben festgestellten Tatsache überein, daß im Winter ein kontinuierlicher Anstieg der Staubkurve zwischen Morgen und Abend typisch ist.

Es kommt häufig vor, daß Tage mit einem höheren Staubgehalt zu Ende gehen, als sie begonnen haben. Der folgende Tag beginnt dann von einem höheren Staubb-niveau aus als der vorangegangene, sozusagen unter ungünstigeren Verhältnissen als der Vortag. Umgekehrt gibt es auch Tage, die mit einem niedrigeren Staubgehalt abschließen. Die dafür verantwortlich zu machende Wetterlage kann in ersterem Falle als „verunreinigend“, in letzterem Falle als „reinigend“ bezeichnet werden. Wenn man die Tagesverläufe eines größeren Zeitabschnittes zu einem mittleren Tagesgang zusammenfaßt, heben sich diese Einflüsse natürlich auf. Anders ist es, wenn man nur Tage mit gleicher Wetterlage auswählt und aus deren Tagesverläufen eine Durchschnittskurve ermittelt. Dann wird der Einfluß der betreffenden Wetterlage auf den Staubgehalt der Luft in der Differenz zwischen dem 0-Uhr- und dem 24-Uhr-Wert deutlich.



A b b. 7 : Abnormer Tagesgang des Staubhaltes der Luft
(Form und prozentuale Häufigkeit)

III. Untersuchung meteorologischer Einflüsse auf Höhe und Tagesgang des Staubhaltes der Luft

Die starken Schwankungen im Staubgehalt der Luft und die wechselhaften Bilder im Tagesgang der Staubkurven sind nicht nur durch Unterschiede in der Stauberzeugung zu deuten, es ist auch eine erhebliche Wetterabhängigkeit des Aerosols anzunehmen, worüber bereits viele Untersuchungen durchgeführt worden sind (4, 5, 26, 27, 32, 38).

Für die Beurteilung der Luftgüte eines Kurortes sind Durchschnittswerte des Staubgehaltes der Luft allein nicht ausschlaggebend, es ist auch wichtig, die Häufigkeit derjenigen Wetterlagen zu ermitteln, die erwiesenermaßen mit einer starken Verstaubung der Luft einhergehen. Im folgenden wird der Einfluß einiger besonders markanter Wetterfaktoren wie Wind, Turbulenz und Luftkörper auf den Staubgehalt der Luft des Meßortes untersucht.

1. Der Einfluß des Windes

Abb. 8 zeigt die Meßstelle in ihrem Verhältnis zur näheren und weiteren Umgebung. Sie liegt, etwas erhöht, am Nordostrand der Stadt Königstein, unmittelbar angrenzend an den Wald des östlich von ihr sich erhebenden Burgberges bei Falkenstein. Im Norden erstreckt sich das breite Massiv des Taunus, in welches sich in NNW-Richtung das Reichenbachtal eingräbt, das in unmittelbarer Nähe der Meßstelle endet. Südöstlich in 10 bis 15 km Entfernung liegen die Grenzen der Stadt Frankfurt a. M. und ihres Industriezentrums Höchst.



Abb. 8 : Geographische Lage der Meßstelle



Abb. 9 : Windverteilung in Königstein von 1957—1960

In der Abb. 9 ist die an der Meßstelle beobachtete Häufigkeit der Windrichtungen, nach den drei Klimaterminen getrennt, für den Zeitraum 1957—1960 dargestellt. Morgens und abends überwiegen die nördlichen Windrichtungen, mittags die Winde aus Süd und Südwest. Diese Tatsache entspricht dem durch die Hanglage bedingten Berg-Talwind-Wechsel, hat also einen typisch lokalen Charakter. Für die Reinheit

der Luft an der Meßstelle bedeutet sie, daß der Talwind tagsüber die verunreinigte Luft des Stadtkerns zur Meßstelle heranzführt, der abendliche und nächtliche Bergwind dagegen reine Waldluft aus dem unbesiedelten Reichenbachtal mitbringt. Vergleicht man damit den bereits beschriebenen Tagesgang des Aerosols (Abb. 6), so läßt sich die Zunahme der Staubintensität im Laufe des Tages, die Abnahme während der Nacht gut mit diesem Windwechsel in Zusammenhang bringen. Ein Beweis für den Einfluß der Windrichtung auf den Staubgehalt der Luft ist damit jedoch noch nicht gegeben.

Auch wenn man sogenannte Staubwindrosen aufzeichnet, d. h. für jede Windrichtung einen Mittelwert der zur gleichen Zeit gemessenen Staubintensitäten errechnet und graphisch darstellt, wie in Abb. 10 geschehen, erhält man keine beweiskräftigen und überzeugenden Unterschiede der Staubwerte zwischen den einzelnen Windrichtungen. Am stärksten noch finden sich diese Unterschiede in den Herbst- und Wintermonaten ausgeprägt. Die höchsten Staubzahlen finden sich hier bei Südost- und Südwind, sowie bei Windstille, während in dem Sektor zwischen West- und Nordostwind im allgemeinen niedere Staubwerte vorherrschen.

Deutlicher wird die Abhängigkeit des Staubgehaltes von der Windrichtung, wenn man Tage mit reinen Nordwinden, Tage mit ausschließlich südlichen Winden und Tage, die nachts nördliche Winde, tagsüber südliche Winde aufweisen (das Berg-Talwind-Gepräge), einander gegenüberstellt, wobei zweckmäßigerweise die Heizmonate (Oktober bis März) von den Sommermonaten (Juni bis August) getrennt werden:

T a b. 5 : Mittelwerte des Aerosols (in mg/m³) bei bestimmten Windverhältnissen

	Tage mit Nordwinden		Tage mit Südwinden		Tage mit Berg-Talwindwechsel	
	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Zahl der verwerteten Tage	30	30	50	30	50	30
Mittelwert des Staubgehaltes	0,085	0,068	0,104	0,069	0,130	0,087
Summe der Quadrate*	0,0135	0,0047	0,0407	0,0061	0,1084	0,0233

* Anmerkung: Als Maß für die Streuung der Einzelwerte ist hier und in den folgenden Tabellen die Summe der Quadrate (SQ) der Abweichungen vom Mittelwert angegeben, wie sie Anwendung findet beim Vergleich zweier Mittelwerte (m_1 ; m_2) nach der Formel:

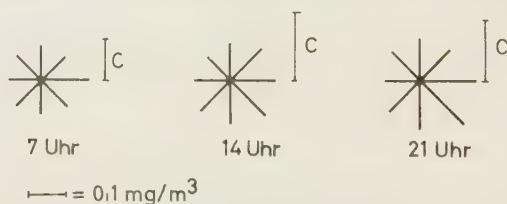
$$t = (m_1 - m_2) \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 - 2)}{(N_1 + N_2) \cdot (SQ_1 + SQ_2)}}$$

Das sonst übliche Streuungsmaß, die mittlere quadratische Abweichung (s), findet man nach $s = SQ : (N - 1)$

(N = Zahl der Einzelwerte)

Im Winter sind die Unterschiede gut ausgeprägt: Tage mit ausschließlich nördlichen Winden zeigen, wie man erwarten konnte, die beste Luftqualität. Erstaunlicherweise sind aber Tage mit Berg-Talwind-Wechsel stärker verstaubt als Tage mit reinem

Südwind. Man mag das vielleicht so erklären, daß an solchen Tagen durch Luftstagnation eine erhebliche Anreicherung des örtlichen Staubaufwurfes stattgefunden hat, der, mit dem mittäglichen Talwind an die Meßstelle herangeführt, zu einer derart starken Verstaubung der Meßluft führt, daß der übliche Tagesdurchschnitt bereits überschritten ist, bevor noch die abendlichen Nordwinde die Reinigung einleiten.



A b b. 10 : Staubwindrosen in Königstein für 1957—1960

Demgegenüber könnte an Tagen mit reinen Südwinden eine übergeordnete Luftströmung wirksam sein, die die lokal entstehenden Luftverunreinigungen gleich nach ihrer Entstehung zerstreut, so daß keine nennenswerte Staubaufreicherung stattfindet. In den Sommermonaten zeigen die Tage mit Nordwinden gar keinen Unterschied von den Tagen mit Südwinden, nur die Tage mit dem Wechsel der beiden Windrichtungen weisen einen höheren Grad von Luftverunreinigung auf.

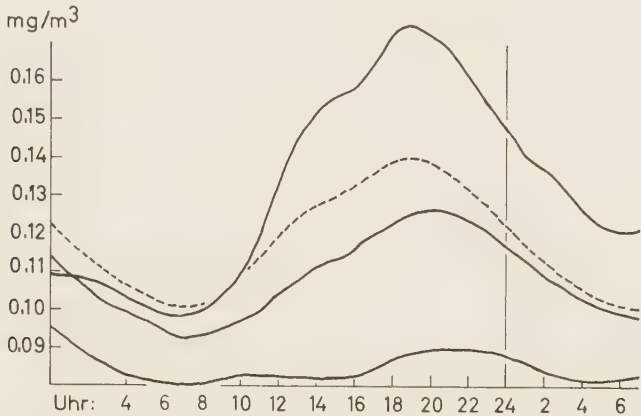
Die Prüfung auf Überzufälligkeit der Unterschiede ergibt:

		im Winter	im Sommer
Zwischen Tagen mit Nordwinden gegenüber Tagen mit Südwinden	ein t =	3,25	0,27
Zwischen Tagen mit Nordwinden gegenüber Tagen mit Berg-Talwind-Wechsel	ein t =	4,95	3,33
Zwischen Tagen mit Südwinden gegenüber Tagen mit Berg-Talwind-Wechsel	ein t =	3,42	3,07

Der Grenzwert für 1%ige Überschreitungswahrscheinlichkeit liegt für die zutreffenden Freiheitsgrade (58—98) zwischen 2,63 und 2,66. Man kann also alle Differenzen, mit Ausnahme des Vergleiches zwischen Nordwind- und Südwindtagen im Sommer, als gut gesichert ansprechen.

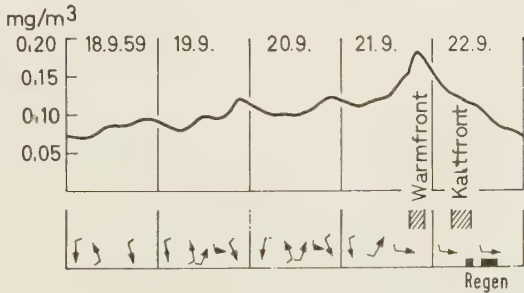
Für die gleichen Tage (nur der Wintermonate) wurden die Tagesverläufe gemittelt und in Abb. 11 dargestellt. Zum Vergleich wurde nochmals die durchschnittliche Tageskurve des Winters (vgl. Abb. 6) beigegeben. Die Tage mit reinem Südwind folgen nahezu gleichförmig dem mittleren Tagesgang des Winters und führen auch zu keiner nennenswerten Staubaufreicherung. Die Tage mit reinem Nordwind zeigen dagegen eine deutliche Abflachung, die Tage mit Berg-Talwind-Wechsel eine intensive Verstärkung des Tagesprofils. Diese führen auch zu einer erheblichen Erhöhung des Staubbereichs, während die ersteren eine schwache Senkung desselben bewirken. Der Folgetag auf einen Tag mit typischem Berg-Talwind-Wechsel beginnt also, wie weiter-

hin aus der Abb. 11 hervorgeht, mit einem überdurchschnittlich hohen Staubgehalt, der zwar von den neuen Wetterverhältnissen kräftig wieder abgebaut wird, aber zur Zeit des morgendlichen Minimums noch längst nicht das mittlere Staubbiveau erreicht. Auch die Fortsetzung der Kurven für die Südwind- und Nordwindtage zeigt eine gewisse Nachwirkung der Windverhältnisse auf den Folgetag, aber bereits wieder eine leichte Annäherung an das allgemeine Mittel.



A b b. 1 1 : Tagesgang des Staubgehaltes bei verschiedenen Windrichtungen (Winter)
 Obere Kurve: bei Berg-Talwind-Wechsel (nachts aus N, tags aus S)
 Untere Kurve: bei konstantem Nordwind
 Mittlere Kurve: bei konstantem Südwind
 Gestrichelte Kurve: zum Vergleich mittlerer Tagesgang Winter

Man möchte aus diesem Verhalten der Staubkurven vermuten, daß bei anhaltendem Berg-Talwind-System von Tag zu Tag das Staubbiveau ansteigen müsse. Dieses läßt sich auch vielfach, allerdings nicht immer, bestätigen. Ein besonders eindrucksvolles Beispiel bringt Abb. 12. Im Laufe von vier Tagen, in denen einheitliche und



A b b. 1 2 : Staubkurven bei einer Folge von Tagen mit dem typischen Berg-Talwind-Wechsel

ungestörte Wetterverhältnisse und eben dieser typische Berg-Talwind-Wechsel herrschen, kletterte die Staubkurve stetig höher, bis sie plötzlich mit dem Auftreten lebhafter meteorologischer Erscheinungen und mit dem Übergang auf eine kräftige, einheitliche Westwindströmung einen starken Abfall erleidet und im Laufe eines Tages wieder auf den Ausgangswert zurückgebracht wird.

Der Versuch, in gleicher Weise den Einfluß der Südostwinde zu ermitteln, welche den Staub der Industrie- und Großstadtluft an die Meßstelle heranführen könnten, kann aus Mangel an Material nicht beweiskräftig genug durchgeführt werden. Wie aus Abb. 9 zu ersehen ist, sind diese Windrichtungen äußerst selten, und aus den vier Beobachtungsjahren konnten nur wenige Tage gewonnen werden, die eine einheitliche Südostströmung aufwiesen, auch unter Einbeziehung solcher Tage, die vorwiegend Windstille und nur mittags einige Stunden Südostwind hatten. Um sicher zu gehen, daß auch wirklich an diesen Tagen der Wind von Frankfurt her wehte, wurden die Windregistrierungen des Flughafens Rhein-Main zur Hilfe genommen und daraufhin das Material in zwei Teile geteilt:

a) Tage, die sowohl in Königstein als auch in Frankfurt/M. Südostwinde aufweisen

b) Tage, die nur in Königstein Südostwinde aufweisen, in Frankfurt/M. jedoch solche Windrichtungen, die unmöglich in Richtung Königsteins ziehen können. Die Südostwinde tragen hier also rein lokalen Charakter oder sind durch lokale Landschaftsverhältnisse abgelenkte Winde anderer Herkunft.

T a b. 6 : Mittelwerte des Aerosols (in mg/m^3) an Südostwindtagen

	Gruppe (a)		Gruppe (b)	
	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr
Zahl der ermittelten Tage	11	6	23	44
Mittelwert des Staubgehaltes	0,166	0,104	0,122	0,086
Summe der Quadrate	0,05122	0,00110	0,09272	0,02514

Gegenüber den durchschnittlichen Staubwerten ($0,116 \text{ mg}/\text{m}^3$ für das Winterhalbjahr; $0,080 \text{ mg}/\text{m}^3$ für das Sommerhalbjahr) liegen die Mittelwerte beider Gruppen überdurchschnittlich hoch. Auch untereinander zeigen die Gruppen Unterschiede um 25—30%. Es läßt sich jedoch sowohl für das Winter- als auch für das Sommerhalbjahr nur ein $t = 1,82$ erreichen, so daß — verglichen mit $t_{0,05} = 2,0$ — die Unterschiede zwischen den Gruppen nicht als gesichert angesehen werden dürfen. Solange nicht weiteres Untersuchungsmaterial beschafft werden kann, ist also ein Einfluß der industriellen Abgase aus der Mainebene am Meßort nicht mit Sicherheit nachzuweisen.

2. Der Einfluß der vertikalen Luftbewegung

Neben den Windrichtungen, die nur die horizontalen Luftströmungen anzeigen, sind auch die vertikalen Austauschvorgänge der Atmosphäre, die sogenannte Turbulenz, von mutmaßlichem Einfluß auf den Staubgehalt eines Ortes.

Der übliche Tagesrhythmus der bodennahen Turbulenz ist eine Aufwärtsströmung in den Tagesstunden, in denen Sonneneinstrahlung den Boden erwärmt und dieser wiederum die bodennahen Luftschichten, und eine Abwärtsströmung, wenn der Boden gegen Abend und während der Nacht wieder abkühlt. Die Luft aus dem tiefer gelegenen Ortskern von Königstein wird dadurch während des Tages in die Höhe der Meßstelle gebracht und mit Beginn der abendlichen Abkühlung wieder zurückverfrachtet. Die Wirkung auf den Staubrhythmus ist also gleichsinnig und verstärkend mit der des oben beschriebenen Berg- und Talwindes und kann nicht davon abgegrenzt werden.

Im Gegensatz zu dieser mehr lokal begrenzten Turbulenz findet ein vertikaler Austausch größeren Ausmaßes statt auf Grund der Temperaturschichtung innerhalb der gesamten Atmosphäre. Der als normal anzusprechende Abfall der Temperatur mit der Höhe (normaler Temperaturgradient) begünstigt durch Absinken der kälteren, schwereren Luftmassen und Aufsteigen der wärmeren, leichteren Luft den vertikalen Austausch. Ein Anstieg der Temperatur mit der Höhe (inverser Temperaturgradient) sperrt die unten liegenden kalten Luftmassen vom vertikalen Austausch ab. Die Anreicherung von Staub und Kondensationskernen in dieser abgesperrten Luftschicht ist schon wiederholt nachgewiesen worden, vgl. Effenberger (8), Pleiß (32), Reeger (34), Sparwasser (38).

Den besten Einblick in diese Austauschvorgänge würde eine kontinuierliche Temperaturmessung über die ganze Vertikale der Atmosphäre des Meßbereiches bringen. Da aber für den Beobachtungszeitraum keine Messungen von Flugzeug- oder Ballonaufstiegen zur Verfügung standen, konnten nur drei Punkte aus der Vertikalen herausgegriffen werden, drei verschieden hoch gelegene meteorologische Stationen, die ihre Temperaturregistrierungen zur Verfügung stellten.

- I. Die 111 m über NN gelegene Wetterstation des Flughafens Rhein-Main als Tiefpunkt des Maintales.
- II. Die 376 m über NN gelegene Station in Königstein.
- III. Die 811 m über NN gelegene Station des Kleinen Feldberges, die zugleich die obere Begrenzung des Mainbeckens darstellt.

Der Vergleich der Temperaturwerte von Station I und II einerseits und von Station II und III andererseits gibt einen groben Anhalt für die thermische Schichtung der Atmosphäre im Meßbereich. Je nachdem ob zwischen den Stationen normale oder inverse Temperaturdifferenzen nachzuweisen sind, lassen sich die Temperaturverhältnisse grob in vier Gruppen einordnen.

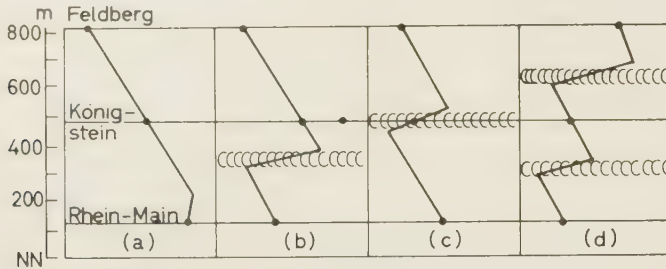
- (a) normaler Temperaturgradient zwischen Station I und II
normaler Temperaturgradient zwischen Station II und III
- (b) inverser Temperaturgradient zwischen Station I und II
normaler Temperaturgradient zwischen Station II und III
- (c) normaler Temperaturgradient zwischen Station I und II
inverser Temperaturgradient zwischen Station II und III
- (d) inverser Temperaturgradient zwischen Station I und II
inverser Temperaturgradient zwischen Station II und III

Innerhalb jeder Gruppe können natürlich die verschiedensten Variationen der Temperaturschichtung auftreten, die zu erfassen wegen des Mangels an Meßpunkten nicht möglich ist. Abb. 13 möge jedoch für jede Gruppe eine vielleicht häufiger auftretende einfache Möglichkeit demonstrieren.

Das erste Beispiel (a) zeigte eine gleichmäßige Temperaturabnahme mit der Höhe. Der Austausch ist ungestört. Eine gute Luftqualität steht zu erwarten.

Das zweite Beispiel (b) soll eine Temperaturumkehr unterhalb Königsteins darstellen. Auch hier ist für Königstein noch saubere Luft zu erwarten.

Im dritten Beispiel (c) liegt Königstein selbst im Bereich der Sperrschicht, in der sich die Dunst- und Staubmassen aus der Mainebene ansammeln. Maximale Staubkonzentrationen sind anzunehmen.



A b b. 1 3 : Mögliche Formen der Temperaturschichtung im Raum Königstein

Das Beispiel aus Gruppe (d) zeigt eine doppelte Temperaturumkehr. Die untere Sperrschicht verhindert wohl ein Aufsteigen der Verunreinigungen aus der Mainebene, aber die obere Sperrschicht läßt auch die Luft der höheren Mittelgebirgslagen nicht an einem normalen Austausch teilhaben.

Aus dem vorhandenen Material wurden alle Tage herausgesucht, die sich in das aufgestellte Schema einordnen ließen. Dabei waren jedoch nur solche Tage zu verwenden, die ein konstantes Temperaturgefälle aufzeigten. Tage, die nur nächtliche Inversionen aufwiesen, tagsüber jedoch ein indifferentes oder gar labiles Temperaturgefälle, konnten nicht berücksichtigt werden, da sich bei ihnen der Einfluß der Temperaturinversionen naturgemäß abschwächen und verwischen muß. Deshalb finden in der folgenden Tabelle nur Tage aus den Monaten des Winterhalbjahres Verwendung.

T a b. 7 : Mittelwerte des Aerosols bei bestimmten Temperaturverhältnissen

Gruppe	(a)	(b)	(c)	(d)
Zahl der ermittelten Tage	235	51	27	42
Mittelwert des Staubgehaltes	0,085	0,136	0,232	0,190
Summe der Quadrate	0,17769	0,17720	0,35088	0,17704

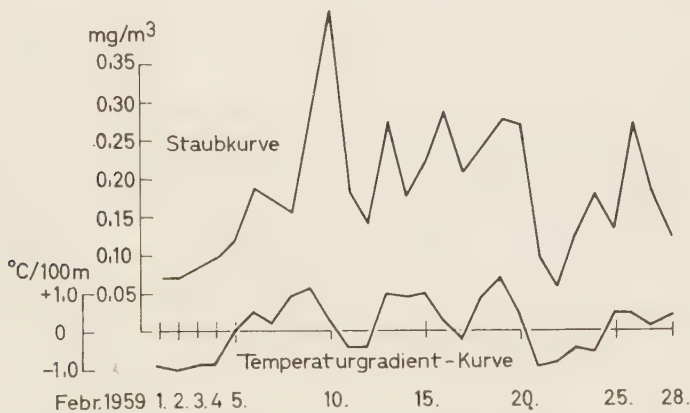
Die höchsten Staubwerte findet man in Gruppe (c), also an den Tagen, an denen ein Eintauchen der Meßstelle in die Inversionsschicht am häufigsten zu erwarten ist. Auch Gruppe (d) zeigt sehr hohe Staubkonzentrationen. Verglichen mit den ersten beiden Gruppen ergibt sich daraus, daß ein inverser Temperaturgradient oberhalb Königsteins einen erheblichen Einfluß auf die Luftqualität des Kurortes ausübt. Das t-Prüfverfah-

ren beweist die Unterschiede zwischen den Gruppen als optimal gesichert, mit Ausnahme des Vergleichs der Gruppe (c) mit (d), also der Inversionswetterlagen untereinander.

T a b. 8 : Anwendung des t-Prüfverfahrens auf Tab. 7

Vergleich	t-Wert	Freiheitsgrade	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit
(a) mit (b)	10,2	284	unter 0,1%
(a) mit (c)	16,0	260	unter 0,1%
(a) mit (d)	17,4	275	unter 0,1%
(b) mit (c)	5,12	76	unter 0,1%
(b) mit (d)	4,55	91	unter 0,1%
(c) mit (d)	1,86	67	über 5 %

Diese Abhängigkeit zwischen Turbulenz und Staubintensität spiegelt sich deutlich wider beim Vergleich der täglichen Schwankungen beider. Verwendet man für normale Temperaturschichtung negative, für inverse Schichtung positive Gradientzahlen (bezogen auf 100 m Höhenunterschied) und stellt man die daraus gewonnenen Tagesmittelwerte denen des Aerosols fortlaufend gegenüber, so zeigt sich eine auffallende Gleichförmigkeit beider Kurven. Als Beispiel sind in Abb. 14 die Verhältnisse im Monat Februar 1959 dargestellt. Ne u w i r t h (27) konnte sogar einen linearen Zusammenhang zwischen Temperaturgradient und Staubintensität ermitteln.



A b b. 1 4 : Beispiel für das gleichförmige Verhalten von Staubkurven und Temperaturgradientkurven. (Tagesmittelwerte des Monats Februar 1959)

Eine ähnliche Abhängigkeit ist auch für den Tagesgang der beiden Kurven zu erwarten, jedoch sind hier die Einflüsse anderer Faktoren (Windwechsel, Verkehrs- und Heizzeiten) so groß und überdies in entgegengesetztem Sinne wirksam (d. h. tags-

über verunreinigend), daß die reinigende Wirkung der im allgemeinen tagsüber verstärkten Turbulenz nicht in Erscheinung tritt. Man muß sich schon auf Tage beschränken, die ausschließlich nördliche Winde aufweisen und bei denen deshalb der Einfluß des Windwechsels und der örtlichen Abgase weitgehend fortfällt. Dazu sei nochmals die Nordwindkurve der Abb. 11 herangezogen und in Abb. 15 der mittlere Verlauf der von den gleichen Tagen gewonnenen Temperaturgradientwerte gegenübergestellt. Hier kann man recht gut von einem Zusammenhang sprechen. Der verstärkten Turbulenz am Tage entspricht ein deutliches Tal in der Staubkurve, und der Rückgang der Turbulenz in den Abendstunden geht mit einem Anstieg der Staubkurve einher. Man findet hier auch eine Erklärung für das Auftreten des nachmittäglichen sekundären Staubminimums. Gerade um 15 Uhr erscheint ja die Temperaturdifferenz am ausgeprägtesten. Neuwirth (26) und Pleiß (32), die ein ähnliches Minimum in den Nachmittagsstunden beobachteten, brachten ebenfalls diese Erscheinung mit der verstärkten Turbulenz in Zusammenhang.

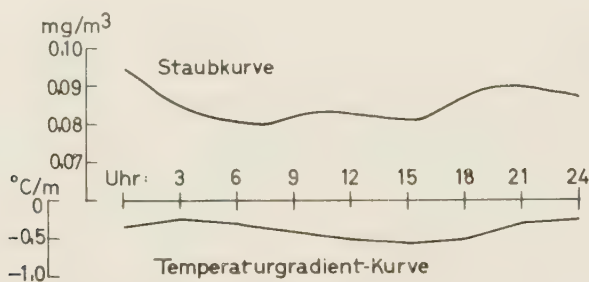


Abb. 15 : Tagesgang des Aerosols und des Temperaturgradienten an Tagen mit reinem Nordwind

Um auch rechnerisch das gleichförmige Verhalten der Staub- und Temperaturgradientkurve nachprüfen zu können, wurden nach der Methode von Neuwirth (26) Tage ausgewählt, die im Vergleich zu den Vor- und Nachtagen ein deutliches Maximum oder Minimum im Staubgehalt aufwiesen. Das Temperaturgradientmittel dieser Tage sowie der drei Vor- und der drei Nachtage ist in Abb. 16 dargestellt. An den Maximatagen erkennt man einen deutlichen Gipfel, an den Minimatagen ein deutliches Tal im Verlauf der Temperaturdifferenzkurve. Die Differenz der Temperaturgradienten vom Stichtag und drittem Vor- bzw. Nachtag ist in jedem Falle mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von unter 0,1% überzufällig.

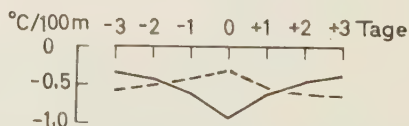


Abb. 16 : Verhalten des Temperaturgradienten bei Extremwerten im Staubgehalt
Ausgezogene Kurve: am Stichtag ein Staubminimum
Gestrichelte Kurve: am Stichtag ein Staubmaximum

T a b. 9 : Temperaturgradient bei maximalen und minimalen Staubdaten

	Maximatage	Minimatage
Zahl der ermittelten Tage	61	57
Mittlerer Temp.-Gradient		
am Stichtag (a)	— 0,30	— 0,80
am dritten Vortag (b)	— 0,58	— 0,35
am dritten Nachtag (c)	— 0,60	— 0,33
t-Wert zwischen (a) und (b)	4,7	7,1
t-Wert zwischen (a) und (c)	5,3	8,6

3. Der Einfluß der Luftkörper und Fronten

Die Betrachtung des Luftkörpereinflusses auf den Staubgehalt führt aus dem bisher betrachteten Bereich mehr lokal begrenzter Einflußfaktoren hinaus in das weiträumige Gebiet der Großwettereinflüsse.

Beim Vergleich polarer und tropischer Luftmassen steht zu erwarten, daß letztere staubreicher sind als erstere. Dabei ist nicht allein an die Herkunft dieser Luftkörper zu denken, an die staubfreie Arktis einerseits und die wüstensandgefüllte Tropenluft andererseits. Die Polarluft bewahrt sich auch bei ihrem Einzug in die gemäßigten Breiten eine kräftige Labilität, da sich ihre bodennahen Schichten gegenüber den höheren erwärmen. Die Tropikluft dagegen kühlt bodenwärts ab und erhält dadurch eine stabile, inversionsreiche Schichtung. Ähnlich ist auch das Verhalten der maritimen und kontinentalen Luftkörper, je nachdem ob sie in wärmere oder kältere Zonen einströmen.

Berücksichtigt man von jedem Tag nur den Luftkörper, der vorwiegend, also länger als 12 Stunden wirksam ist, so mag man von einem Luftkörpertyp des betreffenden Tages sprechen. Dabei ist es nicht zweckmäßig, mehr als vier Typen (P = polar, C = kontinental, M = maritim, T = tropisch) zu unterscheiden. Für die Staubbetrachtung sei bemerkt, daß natürlich Störungen durch die zusätzlich auftretenden Luftkörper wirksam werden können und daß eine Abgrenzung der Luftkörperwirkung auf diese Weise fraglich erscheinen muß. Außerdem darf man nicht von vornherein voraussetzen, daß der Luftkörpereinfluß zu allen Jahreszeiten der gleiche sei. Es gilt daher zu untersuchen, ob ein Einfluß der Luftkörpertypen auf den Staubgehalt nachzuweisen ist und ob dieser zu den einzelnen Jahreszeiten verschieden ist.

T a b. 10 : Mittelwerte des Aerosols (in mg/m³) bei verschiedenen Luftkörpertypen (Zahl der Tage: je Gruppe 50)

	P	C	M	T
Frühling	0,066	0,099	0,095	0,093
Sommer	0,067	0,098	0,074	0,089
Herbst	0,080	0,133	0,112	0,115
Winter	0,103	0,178	0,161	0,122
Gesamtmittel	0,079	0,127	0,110	0,105

Die Unterschiede der in Tab. 10 dargestellten Mittelwerte des Staubgehaltes können mit Hinsicht auf die verschiedenen Luftkörper mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von unter 0,1 gesichert werden, mit Hinsicht auf die Wechselwirkung der Luftkörper zu den verschiedenen Jahreszeiten jedoch nur mit etwa 1%. Das bedeutet, daß der Einfluß der einzelnen Luftkörpertypen auf den Staubgehalt der Luft wesentliche Unterschiede aufweist, zu den verschiedenen Jahreszeiten jedoch etwa der gleiche ist, da die Abweichungen davon noch in den möglichen Bereich des Zufalls fallen.

Der Luftkörpertyp mit dem höchsten Staubwert ist also der kontinentale, der mit dem niedrigsten ist der polare. Die maritimen und tropischen Luftkörpertypen haben mittlere Werte, die sich untereinander nicht überzufällig unterscheiden.

Um die Wirkungsweise der einzelnen Luftkörper noch besser erfassen zu können und vor allem auch die Unterschiede zwischen den Untergruppen der Luftkörper herauszustellen, wurde im folgenden versucht, möglichst einheitliche Gruppen aufzustellen. Es wurden deshalb lediglich solche Tage berücksichtigt, die nur einen Luftkörper aufweisen, also durch Überlagerungen anderer nicht beeinflusst werden. Außerdem wurden Tage mit ausgesprochenen Inversionswetterlagen nicht mit verwertet, da deren Einfluß sich als sehr störend bemerkbar gemacht hätte. Schließlich wurden die vier Jahreszeiten getrennt behandelt. Das Material ist natürlich dadurch in manchen Gruppen sehr gering geworden.

T a b. 1 1 : Mittelwerte des Aerosols (in mg/m^3) bei verschiedenen Luftkörpern.
(In Klammern: Zahl der Tage)

	Frühling		Sommer		Herbst		Winter	
P	0,070	(27)	—	—	0,074	(6)	0,099	(12)
PM	0,077	(20)	0,065	(30)	0,079	(24)	0,082	(11)
C	0,111	(9)	0,106	(12)	0,106	(21)	—	—
Ck	0,095	(21)	—	—	0,102	(10)	0,113	(15)
Cw	0,086	(13)	0,098	(15)	0,107	(15)	—	—
T	—	—	0,113	(5)	0,175	(1)	—	—
TM	0,084	(13)	0,088	(22)	0,113	(12)	0,150	(9)
M	0,113	(8)	0,086	(20)	0,127	(4)	—	—
Mm	0,082	(12)	0,086	(9)	0,144	(15)	—	—
Mk	0,077	(14)	0,065	(30)	0,091	(24)	0,148	(10)

Dabei bedeutet:

PM: polare Meeresluft	TM: subtropische Meeresluft
Ck: kontinentale Kaltluft	Mm: milde Meeresluft
Cw: kontinentale Warmluft	Mk: kalte Meeresluft

Bei den in Tab. 11 dargestellten Mittelwerten des Staubgehaltes lassen sich die Unterschiede mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von unter 0,1% sichern mit Ausnahmen der Winterwerte, die wegen zu großer Streuung innerhalb der Gruppen keinen gesicherten Vergleich erlauben.

Ordnet man die Luftkörper nach dem Grad der Verunreinigung, so kann man aus dem vorliegenden Material folgende Einteilung gewinnen:

T a b. 1 2 : Einteilung der Luftkörper nach dem Reinheitsgrad

Reinheitsgrad	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
I	P	(P?)	P, PM	PM
II	PM, Mk, (Mm)	PM, Mk	Mk	P
III	Mm, Cw, TM	Mm, M, TM	Ck, C, Cw, TM	Ck
IV	Ck	Cw	M	
V	C, M	C, T	Mm, (T?)	Mk, TM

In vorstehender Tabelle sind zu Gruppen jeweils die Luftkörper zusammengefaßt, deren Wirkungen sich nach dem t-Prüfverfahren nicht mit Sicherheit trennen lassen. Der Reinheitsgrad III entspricht dabei etwa dem allgemeinen Monatsmittel. Die Luftkörper in Gruppe I und II führen also eine verhältnismäßig staubarme Luft, die in Gruppe IV und V eine staubreiche Luft mit sich.

An der Spitze der staubarmen Luftkörper stehen die polaren (P und PM); auch Mk erweist sich während dreier Jahreszeiten als relativ staubarm und nur im Winter als hoch verunreinigt. TM ist, ebenfalls mit Ausnahme des Winters, als indifferent anzusprechen. Als indifferent können auch noch Cw und Ck gelten, während C, M und T eine ausgesprochene Tendenz zur Luftverstaubung aufzuweisen scheinen. Für Mm ist keine Aussage möglich.

Ein Wechsel der Luftkörper geht häufig mit dem Auftreten einer Kalt- oder Warmfront einher. Solche Frontendurchgänge zeigen meist lebhaftete meteorologische Erscheinungen. Es ist demnach zu vermuten, daß auch der Staubgehalt der Luft von ihnen beeinflusst wird.

Kaltfronten ermöglichen im allgemeinen eine kräftige Luftdurchmischung, weil die kälteren Luftmassen vom Boden her erwärmt werden. Warmfronten dagegen begünstigen Inversionslagen und werden daher indirekt häufiger zu Staubanreicherungen führen. Bei Okklusionen findet in Bodennähe kein markanter Luftmassenwechsel statt, ein Einfluß auf die bodennahe Luft ist demnach fraglich.

Um zu untersuchen, ob die Tage mit dem Durchgang einer Front einen wesentlich höheren oder niedrigeren Staubgehalt vorweisen, als dem Durchschnitt entspricht, wurden, wie bei den Untersuchungen *Neu w i r t h s* (26) Tage mit isoliert auftretenden Frontendurchgängen gesammelt und der Verlauf der Staubkurve, wie er aus dem Stichtag mit den drei Vor- und den drei Nachtagen gemittelt wurde, verfolgt. Dabei wurden die Fronten noch in üblicher Weise in je zwei Gruppen unterteilt, je nachdem ob in der Höhe ein Absink- oder Aufgleitvorgang nachzuweisen war.

Es bedeuten:

KF I = Bodenkaltfront mit überlagerter Abgleitfläche

KF II = Kaltfront mit überlagertem Aufgleiten

WF I = Bodenwarmfront nach Warmluftaufgleiten

WF II = Bodenwarmfront im Absinkvorgang

Okkl. = Okklusion.

In Abb. 17 ist das Verhalten der Staubkurven an den Vor- und Nachtagen zu einem Tag mit Frontendurchgang (= Stichtag) dargestellt.

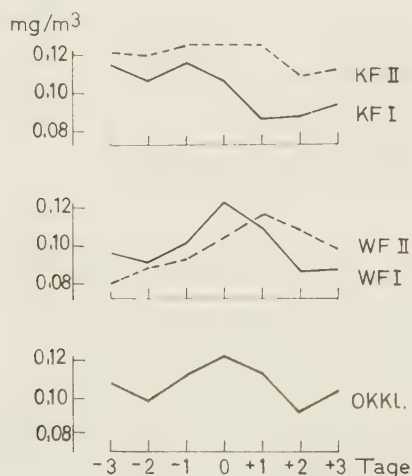
Die KF I hat am Stichtag und an den folgenden Tagen ein deutlich niedrigeres Staubbiveau als vorher. Der Unterschied zwischen Stichtag und drittem Vortag ist nicht zu sichern, dagegen läßt sich für den Unterschied zwischen erstem Nachttag und drittem Vortag ein $t = 2,7$ erreichen, das bei 54 Freiheitsgraden eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von unter 1% bedeutet.

Die KF II zeigt am Stichtag und Folgetag eher einen erhöhten Staubgehalt, der sich jedoch als zufallsbedingt erweist.

Die WF I hat am Stichtag eine deutliche Staubschuppe. Da jedoch nur 27 Tage zur Verfügung standen, läßt sich statistisch keine Sicherheit erreichen.

Bei der WF II zeigt sich ein Anstieg des Staubgehaltes zum Stichtag hin. Die eigentliche Staubschuppe wird jedoch am ersten Nachttag erreicht. Der Unterschied des Stichtages zum dritten Vortag läßt sich mit einem $t = 2,52$; der Unterschied des ersten Nachtages zum dritten Vortag mit einem $t = 3,16$ bei 38 Freiheitsgraden mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von etwa 1% sichern.

Die Okklusionen zeigen auch am Stichtag einen höheren Staubwert als vorher und nachher; jedoch ist die Streuung so groß, daß keine Sicherung zu erreichen ist.



A b b. 17 : Mittlerer Staubgang im Hinblick auf den Durchgang einer Front am Stichtag

Die unmittelbare Wirkung der Frontendurchgänge tritt deutlicher hervor, wenn man den Staubwert 4 Stunden vorher mit dem Wert 4 Stunden nachher vergleicht. Die Störung, die dabei durch die Überlagerung des Tagesganges auftreten könnte, wird weitgehend dadurch ausgeglichen, daß die Frontendurchgänge zu allen Tageszeiten auftreten. Sollte eine Abhängigkeit des Staubgehaltes nicht bestehen, so müßte die Differenz zwischen „vorher“ und „nachher“ Null sein, eine genügend große Zahl von Proben vorausgesetzt. Tab. 13 zeigt die ermittelten Staubwerte vor und nach dem Frontendurchgang und gibt den Grad der Sicherheit an, mit welchem die Abweichung der Differenz vom Nullwert bestätigt werden kann.

T a b. 13 : Einfluß von Frontendurchgängen auf den Staubgehalt

	KF I	KF II	WF I	WF II	Okkl.
im Winter:					
mittl. Staubgehalt in mg/m ³					
vorher	0,128	0,112	0,116	0,127	0,111
nachher	0,101	0,092	0,127	0,175	0,136
Unterschied	— 0,027	— 0,020	+ 0,011	+ 0,048	+ 0,025
Zahl der Fälle	50	21	50	13	50
t-Wert	4,15	1,95	1,24	1,83	2,6
ÜW*	0,1%	etwa 5%	zu groß	zu groß	etwa 1%
im Sommer:					
vorher	0,097	0,095	0,084	0,078	0,087
nachher	0,083	0,070	0,098	0,088	0,084
Unterschied	— 0,014	— 0,025	+ 0,014	+ 0,010	— 0,003
Zahl der Fälle	50	17	28	24	31
t-Wert	4,55	9,4	3,05	3,37	0,73
ÜW*	0,1%	0,1%	1%	1%	zu groß

* ÜW = Überschreitungswahrscheinlichkeit

T a b. 14 : Aufteilung der Frontendurchgänge nach ihrem Einfluß auf den Staubgehalt der Luft

	verunreinigend		reinigend		indifferent	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter
KF I	2	1	26	23	22	26
KF II	1	2	12	13	4	6
WF I	14	18	3	15	11	17
WF II	9	8	2	3	13	2
Okkl.	6	20	12	13	13	17

Die Kaltfronten dürften demnach mit Sicherheit als „reinigend“ bezeichnet werden. Von einer verunreinigenden Wirkung der Warmfronten kann man dagegen nur mit Vorbehalt sprechen. Im Winter ist keine statistische Sicherheit zu erreichen und im Sommer keine so ausgesprochene wie bei den Kaltfronten. Die Okklusionen sind im Sommer sicherlich indifferent, im Winter scheint eine gewisse verunreinigende Wirkung erwiesen.

Man kann das Material auch so aufteilen, daß man die Häufigkeit angibt, mit der eine Front sich verschmutzend, reinigend oder indifferent zeigt (Tab. 14). Dies gibt ein etwas anschaulicheres Bild als die reinen Zahlenwerte.

Die große Häufigkeit der indifferenten Einflußnahme zeigt, wie problematisch es ist, überhaupt von einer Wirkung der Frontendurchgänge auf den Staubgehalt der Luft zu sprechen.

Deutliche Unterschiede jedoch zeigen sich beim Vergleich der Fronten untereinander (Tab. 15).

Tab. 15 : Vergleich der Frontendurchgänge untereinander

Vergleich	Winter			Sommer		
	t	FG	ÜW	t	FG	ÜW*
KF I / KF II	0,58	69	zu groß	2,0	65	etwa 50%
WF I / WF II	1,69	61	zu groß	0,7	50	zu groß
KF I / WF I	3,45	98	unter 0,10%	5,25	76	unter 0,10%
KF I / WF II	4,10	61	unter 0,10%	4,88	72	unter 0,10%
KF II / WF I	3,32	69	unter 0,10%	6,23	43	unter 0,10%
KF II / WF II	2,79	32	etwa 1,00%	8,20	39	unter 0,10%
KF I / Okkl.	4,48	98	unter 0,10%	2,18	79	unter 5,00%
WF II / Okkl.	2,75	69	unter 1,00%	3,72	46	etwa 0,10%
KF I / Okkl.	1,06	98	zu groß	2,76	57	etwa 1,00%
WF II / Okkl.	1,00	61	zu groß	2,43	53	über 1,00%

* FG = Freiheitsgrade ÜW = Überschreitungswahrscheinlichkeit

Aus Tab. 15 geht hervor, daß keine Unterschiede bestehen zwischen den Wirkungen der Kaltfronten untereinander, wie auch zwischen denen der Warmfronten untereinander. Markant jedoch ist der Unterschied der Wirkungen von Kaltfronten im Vergleich mit Warmfronten. Der Vergleich mit den Okklusionen bringt keine einheitlichen Ergebnisse.

IV. Der Einfluß künstlicher Staubquellen auf den Staubgehalt der Luft am Meßort

Als künstliche Staubquellen sind im wesentlichen Industrie, Hausbrand und Verkehr zu nennen. Dabei ist eine Nah- und eine Fernwirkung zu unterscheiden.

Im vorangegangenen Kapitel war bereits mehrfach auf den Einfluß künstlicher Staubquellen auf die Luft am Meßort hingewiesen worden, da meteorologische Kräfte für die Staubverfrachtung und Staubanreicherung verantwortlich sind. Die wichtigsten Ergebnisse seien hier zusammengefaßt und ergänzt:

Von den fernegelegenen Staubquellen scheidet die stark industrialisierte Mainebene für den Meßort praktisch aus, weil die Windrichtung (Südost) aus dem Industriezentrum extrem selten auftritt (nur 2,5% aller Winde) und durch südlich dem Kurort vorgelagerte Wälder und Anhöhen ein weiterer natürlicher Schutz gegeben ist. Ein Einfluß anderer entfernter Staubquellen ist nicht festzustellen.

An örtlichen Staubquellen kommen nur Hausbrand und Verkehr in Frage, da keine größeren Industrieanlagen am Ort sind. Der Stadtkern mit Durchgangsstraße, Geschäftsviertel und Bahnhof liegt südwestlich und unterhalb der Meßstelle im Abstand von 300 bis 1200 m Luftlinie. Bei Südwestwind ist ein deutlicher Anstieg des Staubgehaltes der Luft an der Meßstelle zu erkennen.

Der Staubauswurf aus den Schornsteinen der häuslichen und kleingewerblichen Feuerung scheint den Hauptanteil an der Verstaubung der Meßluft einzunehmen. Der fast doppelt so hohe Staubpegel im Winter ist durch die andersartige meteorologische Situation allein, z. B. durch die größere Häufigkeit von Nebel- und Inversionswetterlagen, nicht zu erklären; sondern der vermehrte Staubauswurf während der Heizperiode muß an der größeren Verstaubung als wesentlich mitbeteiligt angesehen werden.

Auch auf den Tagesgang des Aerosols scheint sich der Einfluß des Arbeits- und Heizungsrythmus auszuprägen. Die Anreicherung des Staubgehaltes der Luft am Tage und die Reinigung der Luft während der Nacht zeigt die zu erwartende Übereinstimmung. Zwar wurde schon (III. 1) für die gleiche Erscheinung als Erklärung der ortstypische Berg-Talwind-Wechsel angeführt, aber auch an Tagen mit konstanten Windverhältnissen ergab sich das gleiche Profil der Staubkurve, wenn auch in schwächerer Ausprägung.

Es tritt hier, wie schon mehrfach deutlich, die Unmöglichkeit hervor, die Abhängigkeit der Staubintensität von künstlichen und von meteorologischen Einflüssen zu trennen. Im Gegenteil muß in jedem Einzelfalle die Mitwirkung beider Ursachenkreise angenommen werden. Häufig sind die Einflüsse beider gleichgerichtet, wie im letztgenannten Beispiel, ebenso häufig aber hebt die Wirkung des einen Faktors die des anderen auf. Man mag darin eine gewisse Erklärung für die große Streuung der ermittelten Staubwerte, auch bei scheinbar gleichen Einflußbedingungen, erkennen.

Der Einfluß des Straßenverkehrs ist an der Meßstelle nicht deutlich. Obwohl die Bundesstraße 8 mitten durch den Stadtkern führt — es ist noch keine Umgehungsstraße gebaut — und obwohl auch der ortseigene Verkehr recht intensiv ist, zeigt sich dennoch an der Meßstelle in knapp 250 m Entfernung von der Hauptstraße kein erkennbarer Effekt auf die Staubschwankungen. Dies geht aus folgender Untersuchung hervor:

An den Wochenendtagen ist der Straßenverkehr in Königstein durch den Ausflugsverkehr erheblich lebhafter als in der Woche. Der Vergleich der Tagesmittelwerte des Staubgehaltes der Wochenendtage mit dem allgemeinen Mittelwert (siehe Tab. 16) zeigt jedoch keinen Anstieg, sondern eher einen Abfall der Staubintensität an den Ausflugsdagen. Die Differenzen erweisen sich sämtlich als zufällig.

T a b. 1 6 : Mittelwerte des Aerosols in mg/m^3 an den Wochenendtagen

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Zahl der ermittelten Samstage und Sonntage	95	90	91	104
Mittelwert des Aerosols	0,085	0,076	0,098	0,116
Allgemeines Staubmittel	0,082	0,079	0,106	0,126
t-Wert der Differenz	0,70	1,24	1,77	1,78

Daraus geht hervor, daß entweder die Entfernung von 250 m allein oder die zwischen Meßstelle und Verkehrsstraße gelegenen parkähnlichen Grünanlagen ausreichend sind, um die Auswurfstoffe des Straßenverkehrs abzufangen.

Diese Beobachtung stimmt gut überein mit den Untersuchungen von A m e l u n g und L a n d s b e r g (3), die in der Nähe unserer Meßstelle nur 40% des Kerngehaltes der Luft der Innenstadt ermittelten, wie auch mit den Staubmessungen W a l l e r t s (42), bei denen die Werte am Ortsrande gerade 50% des Innenstadtwertes erreichten. Allgemein ist mit N e u w i r t h zu sagen, daß „nach der Ortsmitte hin und an den großen Verkehrsstraßen die Staubbelastigung zunimmt“ (29).

Für einen Kuraufenthalt ist also der Stadtkern weniger geeignet. Günstigerweise liegen jedoch eine große Zahl von Fremdenheimen und Sanatorien, sowie zahlreiche beliebte Spazierwege und Erholungsgebiete Königsteins in der geschützten Randlage. Die Ergebnisse der vorliegenden Staubmessungen können deshalb gerade für dieses Kurviertel Königsteins als repräsentativ angesehen werden.

V. Die hygienische Bedeutung des Staubes

Unter den in den letzten Jahren an vielen Orten durchgeführten Luftuntersuchungen nehmen Staubmessungen einen bevorzugten Platz ein, obwohl anderen Luftverunreinigungen, vor allem den gasförmigen und radioaktiven, eine wesentlich größere Bedeutung und Schadwirkung zugesprochen werden muß. Das hat unter anderem folgende Gründe:

1. Staubmessungen sind einfach. Staub ist sozusagen „handgreiflich“, kann mit relativ einfachen Vorrichtungen aufgefangen, gemessen und beurteilt werden. Überall wo Aerosolmessungen in größerer Zahl, über längere Zeit und von ungeschultem Personal durchgeführt werden sollen, wird deshalb die Messung des Staubes komplizierteren Untersuchungen vorgezogen.

2. Der Staubgehalt der Luft gilt als vortrefflicher Indikator für den Gehalt der Luft an schädlichen gasförmigen Bestandteilen. Da in unseren Breiten große Staubaureicherungen der Luft aus natürlichen Quellen (Wüstensand, Vulkanausbrüche) relativ selten und nur von untergeordneter Bedeutung sind, ist als wesentliche Ursache der Luftverschmutzung die künstliche Stauberzeugung anzusprechen, die in erster Linie aus Verbrennungsprozessen stammt.

In der Nähe von (insbesondere chemischen) Fabriken sind natürlich in der Luft noch andere, spezifische Emissionsstoffe anzutreffen [z. B. Fluor, Beryllium (43)], die durch den jeweiligen Produktionsvorgang bedingt sind und häufig wegen ihrer hochgradigen Schadwirkung besondere Überwachung erfordern. In industriefernen Gegenden, so auch in Königstein, kommen aber in der Regel nur die Abgase der heute üblichen Brennstoffe (Kohle, Öl, Benzin) für die Luftverunreinigung in Frage. Die einzelnen Komponenten dieser Abgase sind in Zusammensetzung und Konzentration ziemlich konstant und bekannt; es besteht auch ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Staubgehalt und dem Gehalt an gasförmigen Bestandteilen. Es ist also sinnvoll, in der Größe des Staubgehaltes ein Maß für die Luftverschmutzung überhaupt zu sehen.

3. Der Staub hat auch seine eigene Bedeutung als Schadstoff. Es soll hier nicht von den materiellen Schäden die Rede sein, die durch Verstaubung und Verderb von Sachwerten entstehen. Auch von den gewerblichen Stauberkrankungen wie Silikose u. a. soll hier nicht berichtet werden. Bei ihnen ist der Zusammenhang zwischen Staubinhalation und Erkrankung erwiesen, aber außerhalb der Betriebe werden diese Krank-

heiten so gut wie nie beobachtet. Ferner ist hier auch die Wirkung von toxischem und infektiösem Staub nicht von Interesse, da sein Vorkommen ausschließlich an die enge Umgebung seiner Entstehung gebunden ist.

Der gewöhnliche atmosphärische Staub ist im Vergleich mit den gewerblichen, toxischen und infektiösen Staubarten wesentlich harmloser in seiner Wirkung auf die Gesundheit. Allgemein heißt es, daß er mehr belästigt als schadet [vgl. Weichhardt (43), Schwarz (35; 36), Boie (6)]. Doch darf man ihn auch nie unterschätzen. Man muß bedenken, daß er eine ununterbrochene Dauereinwirkung auf die gesamte Bevölkerung, einschließlich Kindern und Kranken, ausübt.

Oft ist die Wirkung des Staubes nicht von der Wirkung anderer Luftverunreinigungen zu trennen. So kann der Staub durch Adsorption giftiger Gase an seiner Oberfläche die Aufnahme dieser Gase in die Luftwege begünstigen und vervielfachen und deren Reizwirkung dadurch steigern [vgl. Schwarz (35), Thomas (41)]. Für Ruß ist z. B. eine spezifische Oberflächenaktivität zur Anlagerung von Brom, Jod und Benzpyren bekannt [Meldau (22, S. 12)].

Die gesundheitsschädigende Wirkung des atmosphärischen Staubes ist im einzelnen: psychisch, resistenzmindernd, allergisierend, infektionsfördernd und karzinogen.

a) psychisch: Die Beeinträchtigung der Sicht und Sonneneinstrahlung, die Geruchs- und Staubbelästigung „macht nervös, lähmt Stimmung und Arbeitsfreude und beeinflusst das Wohlbefinden . . . Dagegen gibt klare und heitere Luft auch klare und heitere Gedanken“ [Meldau (22, S. 30)].

b) resistenzmindernd: In staubreichen Gegenden unterbleibt häufig die Durchlüftung von Wohnungen und Schulräumen aus Furcht vor Einstaubung; ein Spaziergang im Freien und ein Aufenthalt im Garten wird durch Staubbelästigung vereitelt; die Staubglocke über den Städten verringert die UV-Einstrahlung [Meldau (23, S. 347); Effenberger (9)].

c) allergisierend: Der Staub wirkt entweder selbst als Allergen (besonders organische Staubarten, wie Pollenstaub u. a.) oder er ermöglicht durch Schädigung der Schleimhäute das Eindringen von allergisierenden Stoffen. Die Häufung der allergischen Krankheiten (Heuschnupfen, Asthma, Hautausschläge) wird jedenfalls mit der Zunahme der Luftverunreinigung in Zusammenhang gebracht [Meldau (22, S. 30), Weichhardt (43), Goldsmith (15)].

d) infektionsfördernd: Der Staub reizt mechanisch oder chemisch die Schleimhäute. Chronische Konjunktivitis und Bronchitis sind in rauchigen Städten erwiesenermaßen häufiger als in ländlichen Gegenden [Hettche (18), Symon (40)]. In London [Hettche (18)] und Los Angeles [Goldsmith (15)] hat man einen Zusammenhang nachgewiesen zwischen dem Grad der Luftverunreinigung und dem Befinden von Bronchitispatienten.

e) karzinogen: Die Entstehung des Lungenkrebses durch die Langzeiteinwirkung atmosphärischen Staubes wird vielfach angenommen, ist jedoch schwer zu beweisen. Der erhöhte Gehalt der Stadtluft an karzinogenen Stoffen (Teer- und Ölprodukte, Benzpyren u. a.) ist nachgewiesen [Nedogibschenko (25), Thomas (41)]. Die krebserzeugende Wirkung könnte aber auch allein auf der chronischen Schleimhautreizung beruhen. In den USA [Hettche (18)] und England [Stocks (39)] ist ein positiver Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Lungenkrebses und der Einwohnerzahl der Städte bzw. der Rauchplage (Sonnenscheindauer) festgestellt worden.

Welche Höchstgrenze im Staubgehalt der Luft noch als sicher unschädlich angesehen werden kann und wie man eine lufthygienische Wertskala aufstellen könnte, darüber gibt es bisher noch keine allgemein anerkannte Regel [vgl. Schwarz (36)]. Für den Gehalt der Luft an schädlichen Gasen sind schon in vielen Ländern Höchstgrenzen festgesetzt worden, für den Staubgehalt sind jedoch bisher alle Bemühungen an der Schwierigkeit des Nachweises schädlichen Einflusses und an den uneinheitlichen Meßmethoden gescheitert.

Einen Vorschlag zur Bewertung von Kernzahlen findet man bei Flach (11), und Grenzwerte über die Zulässigkeit von Staubbiederschlägen wurden von Liesegang und Löbner [vgl. Meldau (23, S. 345)] und Symon (40) aufgestellt. Angaben über eine lufthygienische Bewertung des atmosphärischen Staubes liegen bislang nur von russischen und tschechischen Autoren vor [vgl. Kettner (19), Symon (40)]. Zwei Grenzwerte legen diese für jeden Fremdstoff der Luft fest: eine maximale einmalige Konzentration und eine 24-Stunden-Konzentration. Für nicht-giftigen Staub liegt dabei der Kurzzeitwert bei 0,5, der Langzeitwert bei 0,15 mg/m³.

Neuwirth unterscheidet auf Grund von Staubbiederschlagmessungen staubfreie Meßstellen und Meßstellen mit kaum merklicher, geringer, mäßiger und starker Verstaubung (29; 30). In Bezug auf den Gehalt der Luft an schwebendem Staub sind jedoch völlig staubfreie Meßstellen in unseren Breiten nicht zu erwarten. In einer bestimmten Konzentration gehören die Schwebstoffe zu den wesentlichen Bestandteilen der Atemluft [vgl. Meldau (22, S. 43)].

Überschreitet der Staubgehalt der Luft diese Normalkonzentration nicht, so kann er auch nicht durch Niederschlag meßbar werden. Bei den vorliegenden Messungen wurde der Wert von 0,040 mg/m³ selbst bei günstigsten Wetterverhältnissen kaum je unterschritten. Georgii gibt für besiedlungsfreie Gegenden der USA eine Staubkonzentration von 0,030 mg/m³ an (12). Es ist also wohl berechtigt, wenn man bis zu einem Wert von 0,050 mg/m³ noch von ungestörten Verhältnissen spricht und sie den „staubfreien Meßstellen“ Neuwirths gleichstellt. Bis zur Verdopplung dieses Wertes kann man dann von „kaum merklicher Verstaubung“, bis zum Dreifachen des Wertes von „geringer Verstaubung“ sprechen. Dann ist der von dem russischen Autor geforderte zulässige Grenzwert erreicht, über welchem die Bereiche der mäßigen und starken Verstaubung liegen.

Die Luft an der Meßstelle kann nach diesem Bewertungsvorschlag im Sommer mit einem Staubgehalt von 0,077 mg/m³ als „kaum merklich verunreinigt“ bezeichnet werden, in den Wintermonaten wechselt sie mit 0,126 mg/m³ in den Bereich geringer, aber noch unschädlicher Verunreinigung über. Nur an einzelnen Tagen wird der zulässige Grenzwert der Staubkonzentration (0,15 mg/m³) überschritten. Im Sommerhalbjahr sind es 1,5%, im Winterhalbjahr 18% aller Tage. Der maximale Kurzzeitwert von 0,5 mg/m³ wird insgesamt in 0,3% erreicht, und zwar nur in den Monaten Oktober bis Februar. Im ganzen Untersuchungszeitraum finden sich derartige Spitzenkonzentrationen 16mal, jeweils mit einer mittleren Dauer von 6—7 Stunden. Stets ist entweder eine hochgradige Inversionswetterlage oder absolute Windstille nachzuweisen, wodurch der Staub sich zu derartigen Konzentrationen anreichern konnte.

Vom Gesichtspunkt der Luftreinheit ist also für einen Kuraufenthalt die Zeit von März bis September den Herbst- oder Wintermonaten vorzuziehen. Dadurch jedoch, daß der Ort keine industriellen Staubquellen besitzt und Inversionswetterlagen relativ selten auftreten, bietet er auch im Winter vergleichbar günstige Aerosolverhältnisse.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde über Staubmessungen in Königstein, einem heilklimatischen Kurort am Südhang des Taunus, berichtet. Zur Verwendung kamen die Unterlagen der medizin-meteorologischen Beratungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Königstein. Die Registrierungen des dort in Betrieb stehenden Luftüberwachungsgerätes der Firma Landis und Gyr (Zug), ursprünglich nur zur Messung der Radioaktivität des Aerosols bestimmt, konnten nach entsprechender Eichung zur Gewichtsbestimmung des Staubgehaltes der Luft (in mg/m^3) verwendet werden.

Die Aufzeichnungen erstreckten sich ohne nennenswerte Unterbrechungen über die Zeit von März 1957 bis April 1961. Die Berechnung des Staubgehaltes wurde auf Stundenmittelwerten aufgebaut. Die daraus gewonnenen Tages-, Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittelwerte, sowie der mittlere Tagesgang zu den einzelnen Jahreszeiten legte manche Gesetzmäßigkeit offen, die durch die Zusammenfassung des vierjährigen Materials als statistisch gut fundiert angesehen werden darf.

Zur Untersuchung meteorologischer Einflüsse auf den Staubgehalt der Luft wurden die Windrichtungen, die vertikalen Austauschvorgänge, die Luftpörper und Frontendurchgänge herangezogen.

Bei den Windrichtungen erweisen sich die nördlichen, die den Kamm des Taunus überwinden müssen oder als Bergwind aus dem unbesiedelten Reichenbachtal der Meßstelle zuwehen, als die staubärmsten. Außerdem reinigen sie bei bestehender Lufttrübung den Ort. Die Südwestwinde, die die Abgase des Ortskernes der Meßstelle zutragen, haben für die Verunreinigung der Meßluft eine ausschlaggebende Bedeutung, während Südostwinde, die die Luft aus der industrialisierten Mainebene mit sich führen, so selten auftreten (2,5% aller Winde), daß sie statistisch nicht erfaßt werden konnten.

Stärkste Einflußnahme auf den Staubgehalt der Luft haben wechselnde Verhältnisse in der Temperaturschichtung der Atmosphäre. Inversionswetterlagen zeigen im Mittel eine bis zu dreifach höhere Verstaubung als Tage mit ungestörtem vertikalem Austausch.

Von den Luftpörpern zeigen sich die polaren als die vom geringsten Staubgehalt, die kontinentalen dagegen von überdurchschnittlicher Verunreinigung. Die maritimen Luftpörper bieten wechselnde Verhältnisse.

Nicht einheitlich ist das Verhalten der Fronten. Kaltfronten führen in überwiegender Häufigkeit zu einer Luftreinigung. Beim Durchgang von Warmfronten ist dagegen oft, aber nicht mit der gleichen Regelmäßigkeit ein Anstieg im Staubgehalt der Luft zu beobachten.

Anthropogene Einflüsse auf den Staubgehalt der Luft waren an der Meßstelle nur indirekt festzustellen. Die Wochenendtage zeigen trotz des lebhaften Ausflugsverkehrs eher einen Abfall der Staubintensität. Lediglich der Anstieg der Staubkurve zu den Heiz- und Arbeitszeiten läßt einen Einfluß künstlicher Staubquellen vermuten.

Die Luftgüte am Meßort konnte bei dem gewonnenen Vierjahresmittelwert von $0,097 \text{ mg/m}^3$ noch „als nur geringgradig verunreinigt“ bezeichnet werden. Besonders im Sommerhalbjahr, in der eigentlichen Kursaison also, kann mit einem Mittelwert von $0,077 \text{ mg/m}^3$ die Luft an der Meßstelle als „kaum merklich verstaubt“ angesprochen werden. Wenn auch im Zentrum des Ortes höhere Staubwerte anzunehmen sind, so ist doch die Lage der Meßstelle als repräsentativ für einen bedeutenden Teil des Kurgebietes anzusehen.

Literatur

- (1) Amelung, W.: Medizinische Klimatologie. (Heilklimatische Kurorte). Bonn 1961.
- (2) Amelung, W.: Klimatherapie. In Grober, J.: Klinisches Lehrbuch der physikalischen Therapie. Jena 1960.
- (3) Amelung, W., und H. Landsberg: Kernzählungen in Freiluft und Zimmerluft. Bioklim. Beibl. 1, 49—53 (1934).
- (4) Amelung, W., F. Becker und H. Sparwasser: Neue Untersuchungen über den Kern- und Staubgehalt der Luft im Mittelgebirge. Arch. physik. Therap. 3, 37—41 (1951).
- (5) Bansa, I. M.: Untersuchungen über die Beziehung zwischen Außen- und Innenklima bei klimatischen Mittelgebirgskuren. Balneologie 7, 133—143 (1940).
- (6) Boie, W.: Probleme der Luftreinhaltung. Berlin 1960.
- (7) Effenberger, E.: Vergleichsmessungen mit verschiedenen Staubmeßverfahren. Staub 19, 35—38 (1959).
- (8) Effenberger, E.: Untersuchungen über zeitliche Änderungen des Grobaerosols in einer Großstadt. Zschr. Aerosolforsch. 7, 127—145 (1958).
- (9) Effenberger, E.: Luftverunreinigungen und Kurort. Arch. physik. Therap. 10, 336—345 (1958).
- (10) Effenberger, E.: Gegenwartsprobleme der Städtehygiene. Arch. Hyg. 1955, 42—61.
- (11) Flach, E.: Über ortsfeste und bewegliche Messungen mit dem Scholzschen Kernzähler und dem Zeißchen Freiluftkonimeter. Zschr. Meteorol. 6, 97—112 (1952).
- (12) Georgii, H. W.: Erforschung und Bekämpfung der Luftverunreinigung in den USA. Staub 20, 329—333 (1960).
- (13) Georgii, H. W.: Beitrag zum Größenverteilungsgesetz des atmosphärischen Aerosols über dem Kontinent. Meteorol. Rdsch. 11, 33—36 (1958).
- (14) Gessner, H.: Leistung und Grenzen verschiedener Staubuntersuchungsmethoden in der Praxis. Zschr. Aerosolforsch. 2, 677—696 (1953).
- (15) Goldsmith, J. R., und L. Breslov: Epidemiological aspects of air pollution. J. Air Poll. Control Assoc. 9, 129—132 (1959).
- (16) Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1939.
- (17) Heller, A.: Praktische Erfahrungen aus der Staubbiederschlagsmessung. Staub 20, 282—287 (1960).
- (18) Hettche, H. O.: Gesundheit und Großstadtluft. Staub 21, 48—50 (1961).
- (19) Kettner, H.: Höchstzulässige Konzentrationen der atmosphärischen Verunreinigung in der UdSSR. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. Berlin 1957, Nr. 12, S. 30—36.
- (20) Kratzer, A.: Das Stadtklima. Braunschweig 1956.
- (21) Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 3. Aufl. Basel 1960.
- (22) Meldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. I. Bd.: Grundlagen. Düsseldorf 1956.
- (23) Meldau, R.: Handbuch der Staubtechnik. II. Bd.: Staubtechnologie, 1958.
- (24) Müller, Reiner: Hygiene (Lehrbuch). Berlin 1949.
- (25) Nedogibschenko, M. K.: Die gegenwärtige Verunreinigung der atmosphärischen Luft der Städte durch Automobilabgase (russisch). Ref. in Staub 19, 96 (1959).
- (26) Neuwirth, R.: Staubregistrierungen in einem Schwarzwaldkurort. Meteorol. Rdsch. 14, 50—52 (1961).
- (27) Neuwirth, R.: Unterschiede in der Staubbelastrung zwischen Ebene und Höhenlage. Meteorol. Rdsch. 12, 144—146 (1959).
- (28) Neuwirth, R.: Ergebnisse von Aerosoluntersuchungen und ihre Bedeutung für die Kurortklimatologie. Heilbad und Kurort 12, 184—186 (1960).

- (29) Neu wirth, R.: Regionale Aerosoluntersuchungen. Meteorol. Rdsch. 13, 51—54 (1960).
- (30) Neu wirth, R.: Der Aerosolteil der Klimaanalysen für Kurorte. Meteorol. Rdsch. 15, 17—19 (1962).
- (31) Ol af, J.: Staubmeßverfahren. Staub 19, 221—226 (1959).
- (32) Pleiß, H.: Der Einfluß des Windes und der Turbulenz auf atmosphärische Beimengungen. Wiss. Zschr. TH Dresden 4, 479—486 (1954/55).
- (33) Potel, J.: Staubmessungen in einem Krankenhausgelände. Städtehygiene 201—206 (1957).
- (34) Reeger, E., und H. Siedentopf: Staubmessungen in der freien Atmosphäre. Zschr. Meteorol. 4, 136—140 (1950).
- (35) Schwarz, K.: Arbeitsschwerpunkte, Forschungsvorhaben und Arbeitsergebnisse der Kommission „Reinhaltung der Luft“. Staub 19, 170—176 (1959).
- (36) Schwarz, K.: Zu den Begrenzungsbestimmungen der Auswurfrichtlinien. Staub 21, 6—7 (1961).
- (37) Schwarz, K.: Überblick über Probleme der Staubbiederschlagsmessung. Staub 20, 275—278 (1960).
- (38) Sparwasser, H.: Messungen von Kondensationskernen und Staubteilchen und die biologische Bedeutung dieser. I.D. Frankfurt 1951.
- (39) Stocks, P.: Morbidity statistics. Publ. Health, London 60, 137—140 (1947).
- (40) Symon, K.: Der Einfluß der Verunreinigung der Luft auf den Gesundheitszustand der Bevölkerung (tschechisch). Ref. in Staub 21, 202—203 (1961).
- (41) Thomas, M. D.: New understandings from current atmospheric pollution research. Amer. J. Publ. Health Nation's Health 49, 1664—1669 (1959).
- (42) Wallert, K.: Staubmessungen im Taunus. Balneologie 9, 113—120 (1942).
- (43) Weichardt, H.: Gesundheitsgefahren durch Abgase und die gewerbehygienischen Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft. Zbl. Arbeitsmed. 8, 234—242 (1958).
- (44) Betriebsanleitung zur Luftüberwachungsanlage Landis & Gyr.

Außerdem fanden die meteorologischen Aufzeichnungen folgender Institute Verwendung:
 Deutscher Wetterdienst: Medizin-meteorologische Beratungsstelle Königstein/Taunus,
 Bergwetterstation Kleiner Feldberg und Wetterstation des Flughafens Rhein/Main.
 Max-Planck-Institut Frankfurt/M.

Darunter sei insbesondere das Bioklimogramm von F. Becker, Königstein, erwähnt.

Lebenslauf

Am 20. 6. 1932 wurde ich in Paderborn (Westfalen) als Sohn des Sparkassendirektors Dr. phil. Theodor Eduard Püntmann und dessen Ehefrau Elisabeth, geb. Sturm, geboren. In Hannover besuchte ich von 1939 bis 1942 die Volksschule und anschließend die Sexta des Kaiser-Wilhelm-Gymnasiums. Durch die Kriegereignisse kam ich nach Duderstadt (Eichsfeld). Dort ging ich auf die Oberschule bis zum Jahre 1946. Von der Untertertia an war ich in einem Schülerinternat in Münnerstadt (Unterfranken) und besuchte das dortige Humanistische Gymnasium bis zu meiner Reifeprüfung im Sommer 1951.

An den Universitäten Würzburg und Frankfurt/Main studierte ich sechs Semester lang philosophische Fächer, insbesondere klassische Philologie und katholische Religionsphilosophie. Im Sommer 1956 begann ich in Frankfurt/Main mein Medizinstudium. Dort legte ich im Sommer 1958 die ärztliche Vorprüfung und im Winter 1961/1962 die ärztliche Prüfung ab.

Seit April 1962 bin ich als Medizinalassistent in den verschiedenen klinischen Disziplinen beschäftigt, und zwar die meiste Zeit davon im St. Markuskrankenhaus in Frankfurt/Main. Zum 1. 11. 1963 werde ich eine Stelle an der neurologischen Klinik des Nordwest-Krankenhauses in Frankfurt/Main (Chefarzt: Prof. Dr. med. P. Duus) antreten.

Verzeichnis meiner akademischen Lehrer

Anatomie:	Starck, Ortmann, Frick
Physiologie:	Wezler, Felix, Greven
Physik:	Czerny
Chemie:	Royen, Wieland, Ried
Biologie:	Giersberg, Halbsguth
Pathologie:	Lauche, Sandritter, Kahlau
Hygiene:	Herzberg
Pharmakologie:	Holtz, Schümann
Gerichtsmedizin:	Wiethold
Innere Medizin:	Hoff, Schrade, Altmann, Christ, Fischer, Siede
Chirurgie:	Geißendörfer, Kühne
Gynäkologie:	Schwenzer, Heller
Kinderheilkunde:	de Rudder, Weiße
Neurologie:	Zutt, Duus
Augenheilkunde:	Thiel, Graff
HNO-Heilkunde:	Mittermaier, Boenninghaus
Hautklinik:	Landes
Naturheilkunde:	Amelung, Wiedemann

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. habil. W. Amelung bin ich für die Überlassung und Ermöglichung der Arbeit zu höchstem Dank verpflichtet.

Auch dem Leiter der medizin-meteorologischen Beratungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Königstein/Ts., Herrn Oberregierungsrat Dr. F. Becker, möchte ich für Rat und Hilfe herzlich danken.

